

Accessions
259,419.
Shelf No.
3868.80
FOUNDED 1852
SICUT PATRIBUS SIT DEUS NOBIS
BOSTONIA
CONDITA A.D.
1630.
CIVITATIS REGIMINE DONATA A.D. 1822.
BOSTON PUBLIC LIBRARY
Received Mch 27, 1879.



Extrait du tome X des Mémoires de la Société Royale Académique de Savoie.

Chambéry, imprim. de Puthod.

THÉORIE

DES

GLACIERS

DE LA SAVOIE

PAR M. LE CHANOINE RENDU

CHEVALIER DU MÉRITE CIVIL

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE LA SOCIÉTÉ ROY. ACADÉM. DE SAVOIE.

Benedicite glacies et nives Domino.
DANIEL, cant. *Trium puer.*



CHAMBÉRY

CHEZ PUTHOD, IMPRIMEUR-LIBRAIRE.

1840.


CARTE
représentant le plateau
du Mont-Blanc,
pour rendre sensibles les Glaciers
reservoirs et les glaciers d'écoulement.
Dressée d'après Mr. de SAUSSURE.
Servoz
ARVE R.
Chamonix
Les Bossons
Les ouches
GL. DU TOUR
GL. D'ARGENTIÈRE
GL. DES BOIS
AUTRE GLACIER RESERVOIR
GL. DU TALEFRE
GL. DES PELERINS
GL. DES BOSSONS
GL. DE TACONAY
VALLÉE DE MONTJOYE
GL. DE BIONNASSEY
GRAND GLACIER RESERVOIR DU MONT BLANC
Les Contamines
GL. DE LA BRENVA
Entreve
VALLÉE DE FERRET
Cormayeur
LA DOIRE
GL. DU MIAGE
GL. DE TRELATETE
VALLÉE BLANCHE
Eau du Glacier
Mt. Jouvet
Echelle
Toises de France. 6 p. de Roi.
0 1000 2000 3000 4000
Lieues de 25 au degré.
1/4 1/2 1
Lith. de Courtois et Aubert à Chambéri

THÉORIE

DES

GLACIERS DE LA SAVOIE.

AVERTISSEMENT.

J'avais presque renoncé à la publication de cet ouvrage, qui est achevé depuis près de deux ans, quand j'ai vu paraître la *Notice sur les Glaciers, etc.* de M. Ch. Godefroi. La seule vue de ce titre a suffi pour me faire changer en résolution déterminée ce qui n'était encore qu'une hésitation. J'ai lu le travail de M. Godefroi, et en le finissant, j'ai dit : ma théorie paraîtra; tout imparfaite qu'elle soit, les systèmes

de M. Godefroi la rendent nécessaire. Ce savant n'a rien dit des phénomènes les plus curieux que présentent les glaciers. Les crevasses, leur profondeur, leur forme, les puits, les fentes, les rubosités de la surface, la forme convexe des glaciers, la vitesse de l'écoulement des glaces, les rochers revomis par le glacier, tout cela reste à examiner; la question est presque encore toute entière. Ce n'est pas tout, le système imaginé par M. Godefroi pour expliquer la formation des moraines, me paraît tellement contraire à l'observation et à la nature même des moraines, que je crois nécessaire de remettre sous les yeux des naturalistes les explications déjà données par d'autres, en les rendant plus évidentes par de nouvelles observations, et je dirai même par l'impossibilité de la cause assignée par M. Godefroi.

Avant de visiter les glaciers, j'avais étudié tout ce que les physiciens, les naturalistes et les voyageurs avaient écrit sur ce grand phénomène de la nature. Je n'avais que provisoirement admis les explications qu'ils donnaient sur toutes les particularités qui l'accompagnent; mais dès l'instant où j'ai pu voir par moi-même les principaux glaciers qui entourent le Mont-Blanc, ceux du Valais et du St-Plon, j'ai cru reconnaître que tout n'avait pas été observé, et que les causes assignées aux phénomènes n'étaient pas toujours vraies.

Si les voyages de Saussure avaient eu pour but la connaissance spéciale des glaciers, ce savant observateur n'aurait rien laissé à dire à ceux qui viennent après lui ; mais comme il n'en parle qu'accidentellement, il n'est pas étonnant que l'on puisse revenir sur un sujet qui pourtant lui doit beaucoup, comme on le verra par les secours que m'ont fourni ses ouvrages et par les citations nombreuses que je serai forcé d'en tirer.

C'est au glacier des Bois, sur la mer de glace, au glacier des Bossons, à celui d'Argentière que mes observations principales ont été faites. C'est donc là que le lecteur devra se reporter pour arriver plus facilement à l'intelligence des causes que j'assignerai aux divers phénomènes. Je sais que la nature est aussi immense dans sa variété que dans son étendue ; mais elle est toujours semblable à elle-même dans la production des phénomènes identiques. Ceux qui se montrent à nous comme des anomalies, ne semblent sortir de la simplicité des lois connues que par la complication des causes, les accidents du sol, la position relative, etc....

L'ensemble des faits qui se rencontrent sur les glaciers m'a paru d'une grande simplicité ; ils découlent presque tous les uns des autres, et se déduisent évidemment des connaissances que nous fournissent les lois de la physique. Mon unique but en consignant

mes observations dans une théorie que je cherche à rendre aussi complète que me le permettra la faiblesse de mes lumières, est de mettre l'étude des glaciers à la portée de tout le monde. Alors même que les explications que je donnerai ne seraient pas regardées comme incontestables par les savants, je croirais encore n'avoir pas été inutile à la vérité en ajoutant aux éléments qui doivent aider à la trouver ; et si les moments que j'ai consacrés à ce travail étaient inutiles pour les autres, ils ne le seraient pas pour moi; l'étude de la nature rend toujours meilleur celui qui la contemple avec un esprit juste et un cœur droit et désintéressé; c'est une des mille voies qui conduisent à Dieu. Oui, c'est se placer dans la nécessité de le louer que de chercher à connaître son action journalière dans l'administration de ce vaste univers qui est son ouvrage. — *Ignis, grando, nix, glacies, spiritus procellarum quæ faciunt verbum ejus... laudent nomen Domini.* Ps. 148.

CHAPITRE PREMIER.

DES GLACIERS EN GÉNÉRAL.

Quand la hauteur des montagnes dépasse dix à onze mille pieds au-dessus du niveau de la mer, leur sommet reste ordinairement couvert de neige pendant

toutes les saisons. Cette neige plus ou moins durcie par le temps, prend l'aspect, la dureté, et quelquefois la couleur de la glace, et l'on donne à l'ensemble le nom de glaciers.

Pourtant, dans l'usage ordinaire, on donne plus particulièrement le nom de glaciers aux parties qui descendent au-dessous de la région des glaces, et viennent se montrer au milieu de la végétation des hautes vallées. Il est donc nécessaire de distinguer deux espèces de glaciers. Je donnerai le nom de *glaciers-réservoirs* à ceux des régions supérieures, où la formation doit être continue, parce que la température de ces lieux est habituellement au-dessous de zéro. Pour ceux qui descendent dans la région végétale où la fusion des glaces et des neiges s'opère pendant une partie considérable de l'année, comme ils ont évidemment une autre origine que les premiers, je les appelerai *glaciers d'écoulement*.

On sent qu'il serait difficile, pour ne pas dire impossible, d'établir avec précision la ligne qui sépare ces deux régions. Du point où la fusion est nulle jusqu'à celui où elle est précisément suffisante pour faire disparaître pendant l'été toute la glace ou toute la neige qui s'est accumulée pendant l'hiver, il y a plusieurs zones de température diverse, mais dans aucune la chaleur n'est en excès sur le froid. De même depuis le point de fusion totale jusqu'à celui

de la végétation de la vigne, par exemple, il y a aussi plusieurs zones de température diverse, et dans aucune le froid n'est en excès de manière à rendre la neige ou la glace perpétuelle. Cette ligne intermédiaire que l'on a continué d'appeler limite des neiges perpétuelles, ne saurait être toujours en rapport direct avec l'élévation verticale; elle s'élève ou s'abaisse d'après plusieurs circonstances qui ne sauraient être les mêmes partout. La pente du terrain relativement au soleil, la forme et la nature du sol, le degré de latitude, l'élévation du plateau général sur lequel repose la montagne peuvent apporter de grandes différences dans sa position. Je vais placer ici le tableau des sept régions alpines tel que l'ont tracé les naturalistes. La vigne s'élève jusqu'à 1,700 pieds au-dessus du niveau de la mer, la région des chênes jusqu'à 2,800 pieds, la région des hêtres jusqu'à 4,000 pieds, celle des cônifères jusqu'à 5,500 pieds, les graminées jusqu'à 6,500 pieds et plus. A 7,500 pieds on trouve dans le milieu de l'été des amas de neige isolés, et le sol est découvert partout où il n'est pas abrité du soleil; c'est là que se trouvent les plantes hyperboréennes. Enfin au-dessus de 8,000 pieds viennent les glaces éternelles. Cette limite me paraît même, pour les Alpes, placée trop bas; car tous les voyageurs conviennent qu'à cette hauteur et même au-dessus on rencontre encore des saxifrages, des

gentianes, des chrysanthèmes et quelques autres plantes des climats hyperboréens ; il s'ensuit que si cette zone n'était nullement dominée, il y aurait dans l'été quelques jours où elle serait entièrement dépouillée de neige. Il faut donc porter un peu plus haut la limite des neiges perpétuelles ; je la suppose à 9,000 pieds. C'est là que se trouve la ligne de séparation entre les *glaciers-réservoirs* et les *glaciers d'écoulement*.

CHAPITRE II.

DES GLACIERS-RÉSERVOIRS.

La crête du Mont-Blanc à 14,700 pieds au-dessus du niveau de la mer, est inutilement frappée des rayons du soleil; la neige n'y fond pas. M. de Saussure arrivé sur ce point culminant de l'Europe au 2 du mois d'août, trouva le thermomètre de Réaumur à — 2°.3, et même au soleil il était à plus d'un degré au-dessous de zéro, tandis que dans la plaine il était à + 22°. Dans la station d'où il était parti le matin, laquelle se trouve plus de trois mille pieds plus bas, il avait compté trois degrés au-dessous de zéro. M. de Tilly, qui a fait son ascension au 8 octobre, a trouvé au sommet du Mont-Blanc une température de 14 ou 15 degrés au-dessous de zéro. Deux autres voyageurs

que la tempête a surpris et arrêtés aux rochers des Grands-Mulets, ont éprouvé après l'orage un froid de 14° au mois d'août. Toutes les observations qui ont été faites sont d'accord pour démontrer que la fusion des neiges est absolument nulle sur cette sommité.

Pourtant il faut le dire, M. de Saussure qui est une autorité, et je dirai presque un oracle quand il s'agit des phénomènes de cette montagne qu'il a pour ainsi dire conquise à la science, M. de Saussure a recours à la fusion pour expliquer la formation d'une mince lame de glace qui recouvre la neige et qui se brise sous le pied du voyageur. C'est pure inadvertance de la part du savant Genevois ; il y a pour expliquer ce phénomène une autre cause perpétuellement agissante, c'est la condensation des vapeurs qui, comme nous le verrons ailleurs, doit être fort grande dans cette localité.

Au moment où la neige tombe sur les grandes élévations, elle est ordinairement en état de poussière ; peu après, pénétrée par les vapeurs toujours abondantes autour des plus hautes sommités, elle se durcit à la surface.

Il serait possible aussi que la couche de glace qui a été trouvée là comme on la rencontre assez souvent sur la neige des plaines, eût été le résultat de la pluie tombée et congelée en arrivant au contact de la neige.

L'effet de la plus grande chaleur qui se manifeste sur des hauteurs bien inférieures à celles du Mont-Blanc, consiste à la ramollir de manière à donner à ses diverses parties plus de facilité à s'unir, et pour pousser jusqu'à la fusion, il faudrait un certain concours de circonstances qui doivent rarement se présenter : ce serait un vent chaud, aidé par le soleil, ou de l'humidité à une température un peu élévée.

CHAPITRE III.

CAUSES D'ACCROISSEMENT DES GLACIERS-RÉSERVOIRS.

Première cause : la neige.

La neige est sans contredit le moyen le plus abondant employé par la nature pour entretenir les réservoirs de glace ; elle y tombe dans toutes les saisons de l'année ; ce qui, dans la plaine, arrive sous la forme de pluie, tombe le plus ordinairement sur ces hauteurs sous la forme de neige, et si, dans les saisons ordinaires, il n'est pas rare de voir tomber dans les hautes vallées des Alpes jusqu'à 400 pouces de neige dans le cours d'une année, on doit concevoir que cette quantité doit être bien considérable aussi sur les sommités des glaces éternelles (1). Cependant il est bien

(1) D'après l'Annuaire des observations météorologiques faites à St-Jean-de-Maurienne par M. le docteur Mottard,

probable qu'il en tombe moins sur les crêtes les plus élevées que dans les vallées qui sont autour, pour deux raisons : la première est que vers cette hauteur atmosphérique les vapeurs ne sont pas susceptibles d'acquérir le degré de densité qu'elles ont plus bas ; la seconde est qu'une assez grande partie de la neige qui tombe sur la cime des hautes montagnes est emportée par les vents, et vient s'ajouter à celle qui tombe dans les vallées.

Deuxième cause : la pluie.

C'est un fait qui a été mis au jour par les observations météorologiques, que la pluie est en général plus abondante dans les lieux plus bas que dans les lieux plus élevés. Sans y mettre la précision que la science exige, il est peu de voyageurs habitués à courir les montagnes qui n'aient pas été témoins de ce fait. Souvent du sommet d'une montagne où l'on jouit d'un ciel pur et d'un soleil ardent, on entend

il est tombé en 1856 72 pouces de neige, et 25 pouces d'eau au bas de la vallée.

Les observations de M. Venetz, ingénieur en Valais, portent à 40 pieds 10 pouces 4 lignes et demie la neige tombée pendant chacune des années 1818, 1819, 1820, 1821 et 1822, dans la vallée de Bagnes.

sous ses pieds les roulements du tonnerre, et l'on voit les nuages s'étendre et se décharger sur les plaines. Cependant plusieurs fois les voyageurs ont été surpris par des pluies dans ces hautes régions. Il est donc aussi constant qu'il y tombe de la pluie, qui s'infiltrant dans la neige, se congèle avec elle et contribue à la convertir en glace.

Troisième cause : condensation des vapeurs.

Il y a certainement entre les nuages et les cimes des montagnes une affinité qu'il est impossible de méconnaître. Alors même que le ciel est serein, on voit les pointes les plus élevées entourées de brouillards plus ou moins épais. Si l'on considère au-dessus des vallées un nuage flotter dans l'air quand l'agitation n'est pas trop grande, en le suivant de l'œil on le voit peu à peu se diriger vers la cime la plus haute, la couvrir, l'envelopper, et, sans passer outre, se dissiper, s'évanouir en cet endroit. Le Mont-Blanc surtout est presque continuellement caché et ne se laisse pour ainsi dire voir que par exception, et tandis que les nuages qui sont dans le milieu des airs voguent au gré des vents, ceux qui l'entourent y semblent enchaînés par une force inconnue.

Il n'est pas rare qu'on voie aussi le nuage naître et grandir autour des crêtes glacées; alors il paraît

rester là comme un bonnet pour couvrir la cime ; de temps en temps le vent en arrache quelques flocons qui voguent dans les airs ; mais pour l'ordinaire ce brouillard est dévoré sur place. Il est facile, ce me semble, de suivre les phases de son existence : les vapeurs privées d'une grande partie de leur calorique par le voisinage du glacier qui l'absorbe, prennent la forme vésiculaire qui les rend visibles, la transmission continue du calorique les fait passer à l'état de gouttes, et elles tombent sur le glacier. Ce fait est connu de toutes les personnes qui ont beaucoup parcouru les montagnes. Quand tout à coup on se trouve enveloppé d'un de ces brouillards, on se voit assez rapidement couvert d'humidité, les feuilles des plantes, le sol, les rochers sont eux-mêmes mouillés comme après une pluie légère. Si l'on considère que le sommet du Mont-Blanc est presque toujours caché par ce brouillard qui l'entoure de près, on est forcé de donner une très-grande importance à ce moyen d'accroissement.

Tous les physiciens sont d'accord pour reconnaître qu'une partie considérable de l'humidité répandue dans l'air rentre dans la terre sans avoir passé à l'état de pluie ni de neige. Les vapeurs mises en contact avec les rochers, leur cèdent une portion de leur calorique, se condensent, coulent à travers les fissures, et vont dans les réservoirs intérieurs. Cette conden-

sation des vapeurs de l'atmosphère est considérée par beaucoup de savants, comme la cause la plus féconde de l'alimentation de sources. Je montrerai plus tard qu'ils se trompent ; mais ils ne font qu'exagérer la puissance d'un phénomène qui est incontestable.

Si les vapeurs se condensent autour des rochers et sur leurs cimes couvertes de végétation, on comprendra facilement que la puissance condensatrice d'une montagne de glace doit être bien plus considérable. Pour apprécier cet excédant, il faudrait, ce me semble, non-seulement considérer la différence de température, mais encore la différence des hauteurs et des masses attractives agissant pour la condensation. Mais à ne considérer que la généralité du fait, on comprend que la masse glacée du Mont-Blanc isolée au milieu de l'atmosphère, doit y produire l'effet du condensateur des machines à vapeur. On peut établir en principe que tout globule de vapeur qui la touche est immédiatement absorbé, et comme un globule absorbé fait un vide, il est aussitôt remplacé par le globule qui était derrière, et ainsi de suite. Ou, si l'on veut, en faisant abstraction de l'air atmosphérique, on peut considérer la cime de la montagne comme entourée de diverses enveloppes humides infiniment minces, et absorbant successivement ces enveloppes de vapeurs qui se pressent contre la surface du glacier par l'effet de la tension des fluides atmos-

phériques. Cette absorption, qui doit être continuelle, doit pourtant être plus grande quand la température de l'air est plus élevée.

Ces assertions sur la condensation des vapeurs sont parfaitement conformes aux résultats donnés par les expériences d'hygrométrie faites par M. de Saussure au sommet du Mont-Blanc. Ce savant a trouvé qu'à midi l'air au sommet du Mont-Blanc contenait six fois moins d'humidité qu'à Genève au même jour et à la même heure. Cette même proportion à peu de différence près existe entre le Mont-Blanc et Chamonix. Chaque pied cube d'air pris au sommet des glaciers ne contenait qu'un grain sept dixièmes d'eau réduite en vapeur, tandis qu'à Genève il en contenait un peu plus de dix grains. On ne peut, ce me semble, attribuer cette différence qu'à la rapidité de la condensation.

Il y a une foule d'observations qui rendent pour ainsi dire palpable le phénomène de la condensation. Au milieu de l'été, une caraffe d'eau fraîche se couvre en peu de temps d'une couche de rosée dont les gouttes se rassemblent et coulent le long des parois du vase.

Pendant l'hiver, quand la température dépasse six ou sept degrés de froid, les vitres des appartements chauffés et habités se couvrent pendant la nuit d'une couche de glace dont l'épaisseur dépasse quelquefois

une ligne. C'est, en petit, ce qui se produit en grand sur les glaciers.

Les habitants des hautes Alpes de la Suisse ont remarqué que les mouvements des glaciers, comme les avalanches, les chutes, les fentes, sont plus fréquents dans les temps humides, aux approches des pluies; la raison en est que la condensation étant alors plus considérable, les glaces reçoivent un accroissement qui les surcharge et rompt l'équilibre qui existait entre leur pesanteur et leur solidité.

Ces considérations pourraient peut-être fournir l'explication d'un phénomène qui se manifeste dans toutes les hautes vallées des Alpes. Le voici: en parcourant la vallée de Maurienne, que je cite de préférence parce que c'est là que j'ai pour la première fois observé le phénomène dont il s'agit, on voit que tous les arbres du fond de la vallée sont inclinés vers le haut de cette même vallée, ce qui oblige de suite à conclure que les vents soufflent plus ordinairement dans cette direction. En effet, ceux qui habitent ces vallées savent que, depuis les premiers jours d'avril jusque vers la fin de septembre, tous les jours vers les neuf heures du matin on sent s'élever un vent qui remonte, et qui après avoir acquis le maximum de son intensité vers les deux ou trois heures, finit avec le jour. Il ne se fait sentir que dans la vallée, et ceux qui sont au sommet des montagnes n'en voient les

effets que de loin. Cette étonnante périodicité a vivement piqué ma curiosité. J'ai cherché la solution du problème ; je donne ici celle qui m'a paru la plus plausible, sans cependant y ajouter une entière foi. Quand il s'agit de la recherche des causes productrices des phénomènes de la nature, je me défie autant de mes propres systèmes que de ceux des autres. Je donne la pensée qui m'est venue ; si elle est fausse, je verrai avec plaisir qu'on en fasse justice.

C'est au milieu du jour que, favorisée par l'élévation de la température, la vaporisation est plus considérable ; c'est aussi au milieu du jour que la différence de température entre les glaciers et les vapeurs de l'air se trouve plus considérable. Si donc il y a au sommet de la chaîne des Alpes une grande absorption de vapeur autour des neiges, des glaces et des aiguilles granitiques, n'est-il pas naturel que le vide produit dans la partie moyenne de l'atmosphère soit comblé par les vapeurs qui continuent à se former au fond des vallées, et qu'il s'établisse ainsi un courant dont la direction serait vers le haut des vallées ?

D'ailleurs les observations hygrométriques de M. de Saussure ont prouvé que, toutes choses égales, la quantité de vapeur tenue en dissolution dans l'air devient moindre sur ces hauteurs, et les raisons que l'on peut en donner sont que la vaporisation y est

presque nulle, tandis que l'absorption doit y être très-grande ; il n'est donc pas étonnant que la quantité qui reste dans l'atmosphère soit moindre que celle qui est au bas des vallées.

Enfin, c'est encore une chose reconnue que, pendant le jour, la formation des vapeurs donne lieu à un vent vertical ascensionnel, et que, pendant la nuit, les vapeurs en voie de condensation doivent s'abaisser et donner lieu à un mouvement contraire ; excepté pourtant dans les hautes vallées, où les vapeurs n'ont pas de retour, puisqu'elles ont été absorbées sur les cimes froides. Mais ce mouvement d'air, qui est purement vertical dans les plaines, doit suivre la pente des vallées où la condensation s'opère. Je pourrais donner à ce sujet d'autres développements, mais je crois en avoir dit assez pour mettre sur la voie. Je terminerai en citant une observation de M. de Saussure, qui tend à confirmer ma théorie :

« En approchant la plaine du Mont-Cenis.........
« j'observai un phénomène météorologique bien in-
« téressant par les inductions que l'on peut en tirer.
« La vallée du Mont-Cenis est ouverte au nord-ouest
« du côté de la Savoie, et au sud-est du côté du Pié-
« mont, tandis qu'au nord-est et au sud-est elle est
« bordée de hautes montagnes. Sur le soir, les val-
« lées, tant du côté du Piémont que du côté de la
« Savoie, étaient remplies de nuages, et par un ha-

« sard assez extraordinaire, il soufflait des vents
« opposés en Savoie et en Piémont. Ainsi le rendez-
« vous de ces vents était dans la vallée du Mont-
« Cenis, et l'on voyait des nuages entrer dans cette
« vallée par ses deux extrémités opposées. On croi-
« rait donc qu'elle aurait dû être bientôt remplie de
« nuages, et point du tout; à mesure qu'ils y en-
« traient, soit d'un côté, soit de l'autre, ils se fon-
« daient dans l'air et disparaissaient entièrement; en
« sorte que malgré la quantité de nuages qui ne ces-
« saient d'y entrer, l'air y demeurait toujours clair
« et transparent. » (*Voyage dans les Alpes*, tom. 3.)

Pendant la nuit le vent change et descend des hauteurs vers le bas, mais il est faible et n'est guère sensible que sur la fumée qu'il emporte. La quantité d'air qui revient dans la plaine est due, je pense, à la seule condensation de l'air atmosphérique. Cette condensation doit être surtout considérable dans les lieux bas, parce que la différence de température entre le milieu du jour et le milieu de la nuit est plus grande sur ce point que dans les lieux élevés, où elle est à peine sensible. Ainsi, pendant le jour, deux causes contribuent à produire le vent ascensionnel : la vaporisation et la dilatation, ou, si l'on veut, deux quantités de fluides s'élèvent: la vapeur produite et l'air dilaté; dès lors le vent est fort et rapide. Mais le soir, la vapeur ayant été absorbée, une seule quan-

tité revient, à savoir : l'air condensé ; et dès lors le vent est plus faible.

Il y avait plus d'une année que j'avais écrit ce passage sur un phénomène météorologique des vallées, qui m'a toujours paru aussi intéressant à étudier que difficile à expliquer, quand a paru le Mémoire de M. Fournet, professeur à la faculté des sciences de Lyon. Le savant professeur a fait une étude complète des *brises de jour et de nuit autour des montagnes*. Le fait des vents ascendants diurnes est parfaitement établi dans son ouvrage. Peut-être y aurait-il quelque chose de plus à désirer relativement à la brise du soir, qui n'est pas aussi bien connue quant aux heures où elle commence, où elle a acquis sa plus grande force, et où elle cesse d'être sensible ; son intensité relative à celle du vent diurne n'est pas non plus suffisamment appréciée ; mais toutes les circonstances de pression atmosphérique, de température et d'hygrométrie qui accompagnent le phénomène, ont été examinées par M. Fournet, avec autant de précision qu'il est possible d'en mettre dans l'examen d'une question qui n'est soumise que depuis peu de temps à l'attention des physiciens.

Dans sa discussion théorique, M. Fournet applique au cas présent les principes énoncés dans la *Physique du globe* de M. Saigey. Son explication se résume dans l'axiome suivant, qui est encore de l'auteur que nous

venons de citer : « Toutes les fois que l'air se ré-« chauffe, il afflue des lieux bas vers les lieux élevés; « et il ne peut se refroidir, sans couler en partie des « lieux élevés vers les lieux bas. » De sorte que M. Fournet ne fait entrer que la dilatation de l'air atmosphérique par l'élévation de la température, dans la cause qu'il assigne au vent ascensionnel des montagnes. Malgré la considération que je professe pour l'opinion d'un savant aussi distingué, je persiste à croire que la condensation des vapeurs au sommités froides et glacées doit entrer comme élément principal dans la théorie des brises de jour et de nuit des hautes vallées.

Enfin, combinant entre elles les trois causes qui contribuent à l'entretien des glaciers-réservoirs, il serait intéressant d'arriver à la masse qui leur est fournie chaque année ; mais on sent qu'il n'est possible d'avoir sur ce sujet que des conjectures plus ou moins vraisemblables ; c'est surtout ici que nous manquons et que nous manquerons toujours des observations qui doivent être le premier élément pour mener à l'intelligence de lá nature. Cependant nous savons que les jours où la neige, la pluie ou les brouillards ne chargent pas le sommet du Mont-Blanc sont très-rares dans l'année ; ceux qui veulent entreprendre de le visiter sont souvent forcés d'attendre long-temps avant de trouver un jour propice, et souvent même ils sont forcés de rebrousser chemin à cause des orages.

Nous savons encore que la formation des glaces est rapide sur ces hauteurs. M. de Saussure ne trouvait plus, en redescendant, le chemin qu'il avait tracé la veille.

A la fin d'août 1837, il y a eu deux ascensions qui ont parfaitement réussi ; la première caravane, qui était nombreuse, avait tracé sur la neige et sur la glace un chemin que l'on pouvait suivre de l'œil depuis le bourg de Chamonix ; elle avait taillé un escalier de 80 marches dans la glace vive, et pourtant la seconde caravane qui passa dans le même endroit, deux jours après, ne trouva plus aucune trace de chemin ni d'escalier. Il n'y avait eu ni pluie ni neige, tout avait été effacé par le vent et la condensation des vapeurs. Ces mêmes faits ayant été plusieurs fois observés par d'autres voyageurs, on peut en conclure que les effets de la condensation sont considérables.

En prenant pour point de départ ce qui se passe ailleurs, on peut, ce me semble, sans exagération, supposer, 1° que la couche de vapeur condensée chaque jour s'élève à une ligne d'épaisseur, ce qui donnerait par la vapeur un accroissement de 30 pouc. par année ; mais pour rester plutôt en dessous, réduisons cette somme à moitié ; 2° en supposant qu'au sommet du Mont-Blanc la quantité de neige qui tombe dans une année est moindre que dans les vallées qui l'entourent, je pense qu'il n'y a pas d'exagération à

porter cette quantité à 100 pouces ; 3° la moyenne des pluies dans les plaines intertropicales est d'environ vingt pouces ; mais au pied des Alpes, dans les hautes vallées, cette moyenne s'élève considérablement, et peut se porter, je pense, de 23 à 24 pouces. Les observations de M. Mottard, faites à Saint-Jean-de-Maurienne, portent 25 pouc. 2/10 pour 1836 ; celles de M. l'abbé Chamousset la portent à 29 pouces environ pour l'année 1839. Cependant, comme il est à présumer que la pluie est moins abondante sur les grandes hauteurs, nous pouvons réduire cette quantité de plus de moitié, et porter 12 pouces de pluie.

Avant de déduire le total d'accroissement que le Mont-Blanc doit recevoir chaque année, il y a plusieurs observations à faire : la première est que les trois éléments dont nous venons de parler se réduisent en glace, et par conséquent changent de volume ; l'eau et la vapeur condensée augmentent d'un 14e de leur volume en arrivant à la congélation, et la neige en perd beaucoup plus pour arriver à l'état de glace. Cependant la glace qui résulte de cette dernière formation n'est pas une glace compacte et pure comme celle qui se forme à la surface d'un lac ; elle est mélangée de tout ce que les vents apportent sans cesse à la surface ; elle est bulleuse, remplie de petits globules d'air. Quand, dans les crevasses où l'on peut apercevoir le profil d'un glacier, on voit différentes couches

distinctes par la couleur, mais surtout par la densité, quelques-unes semblent avoir toute la dureté et la couleur verdâtre de la glace, et d'autres conservent la blancheur et la porosité de la neige. Il y a dans l'ensemble de grandes et de petites assises. Les premières représentent sans doute les années, et les secondes représentent peut-être une saison, un jour de pluie, une chute de neige, un violent coup de soleil. Si l'on compare par le poids deux cubes de glace d'égales dimensions, l'un de glace compacte et l'autre de glace bulleuse, le premier pèsera un quart environ plus que le second. Il me paraît donc que les 15 pouces de vapeur et les 12 pouces de pluie peuvent donner en glace bulleuse environ 33 pouces. Il faut ajouter à cela le résultat de la neige.

J'ai porté à 100 pouces la neige d'une année; il faudrait savoir de combien ce volume se réduirait en passant à l'état de glace. Pour y parvenir j'ai fait quelques expériences, et j'ai trouvé que la neige tombée depuis huit jours par un temps qui n'avait pas cessé d'être au-dessous de zéro, ne donnait, réduite en eau, qu'un 8e de son volume, et que cette quantité s'élevait à mesure que la neige devenait plus dure en étant soumise à une température plus élevée. J'en ai trouvé qui a donné, réduite en eau, un tiers de son volume; mais comme au sommet du Mont-Blanc la température est au-dessous de zéro, nous partirons

de la première expérience, et nous aurons 100 pouces de neige fournissant environ 12 pouces d'eau, qui à leur tour nous donneront environ 15 pouces de glace bulleuse, et nous aurons pour accroissement total 15 p^{es} × 33 p^{es} = 58 pouces de glace, qui viendrait chaque année s'ajouter à la masse du glacier-réservoir.

On sent que dans la plupart de ces évaluations j'ai pu, manquant d'observations précises, me placer en dessus ou en dessous de la vérité; mais j'ai plutôt cherché à rester en dessous. Si donc les glaciers-réservoirs ne perdaient rien de ce qu'ils reçoivent, on les verrait s'élever dans les airs jusqu'à ce qu'ils eussent dépassé la région accessible aux météores aqueux. Le Mont-Blanc en particulier s'élèverait de plus de 400 pieds par siècle et de 4000 pieds dans mille ans. Or, il est bien évident que rien de semblable n'a lieu dans la nature.

L'économie du monde serait bientôt détruite, s'il pouvait y avoir sur certains points particuliers des accumulations de matière. Le centre de gravité du globe se trouverait insensiblement déplacé, et la perturbation succèderait à l'admirable régularité des mouvements. Si les pôles ne renvoyaient pas aux mers équatoriales les eaux qui, réduites en vapeur, partent chaque jour de ces régions brûlantes pour aller se convertir en glace aux deux extrémités de la terre,

l'Océan s'épuiserait et la vie cesserait avec l'eau de circuler dans le monde. La volonté conservatrice du Créateur a employé pour la permanence de son ouvrage la vaste et puissante loi de la *circulation*, qui, examinée de près, se trouve reproduite dans toutes les parties de la nature. L'eau circule de l'Océan dans les airs, des airs sur la terre et de la terre dans les mers; « Les rivières retournent d'où elles sont sor-« ties, afin qu'elles coulent de nouveau, » dit l'Esprit saint. *Eccles.* 9, 1, 7; l'air circule autour du globe et pour ainsi dire sur lui-même, en passant et repassant successivement par toutes les hauteurs de la colonne atmosphérique. Les élémens de la substance organique circulent en passant de l'état solide à l'état liquide ou aériforme, et de celui-ci à l'état de solidité et d'organisation. Cet agent universel que nous désignons sous les noms de feu, de lumière, d'électricité et de magnétisme, a probablement aussi un cercle de *circulation* aussi étendu que l'univers. Si quelque jour son mouvement pouvait nous être mieux connu, il est probable qu'il nous donnerait la solution d'une foule de problêmes qui pèsent encore sur l'esprit humain. Ramenée dans chaque partie du tout, la circulation est encore la loi de vie, le mode d'action employé par la providence dans l'administration de l'univers. Dans l'insecte comme dans la plante et comme dans le corps humain, il y a une circulation,

ou plutôt plusieurs circulations de sang, d'humeurs, d'éléments, de feu et de tout ce qui entre dans la composition de l'individu.

Et nous-mêmes, esprits, intelligences et volontés, n'obéissons-nous pas aussi à la loi universelle de la circulation, en retournant par la voie humanitaire jusque dans le sein de Dieu d'où nous sommes sortis! Si l'on trouvait que je m'écarte de mon sujet, je répondrais qu'il est impossible que l'étude approfondie de la nature ne ramène pas à Dieu.

« Il ne faut donc pas croire, dit M. de Saussure « (1), comme l'ont supposé quelques personnes, que « l'épaisseur des glaces augmente continuellement. « Ici, comme en tant d'autres occurrences, les causes « d'accroissement trouvent des limites où les causes « de destruction les atteignent, et où la nature s'est « fixée à elle-même des bornes qu'elle ne dépasse « jamais. »

M. de Saussure a cherché à connaître quelle pouvait être l'épaisseur de glace qui recouvre la cime du colosse des Alpes. Dans plusieurs endroits où cette épaisseur est visible sur le flanc des rochers, il l'a mesurée et n'a trouvé que des tranches de 12 à 50 pieds; son opinion est que nulle part elle ne dépasse deux cents pieds. En effet, on voit dans plusieurs en-

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 4, p. 204.

droits au-dessous de la cime, les rochers appartenant au noyau de la montagne, dépasser en aiguilles la surface des neiges, ce qui indique assez que leur accroissement n'est pas indéfini et que leur masse est toujours à très-peu près la même.

CHAPITRE IV.

DES CAUSES DE DIMINUTION DES GLACIERS-RÉSERVOIRS.

En indiquant les causes de diminution des glaciers supérieurs, M. de Saussure n'en compte que trois, savoir : la fonte soit du fond soit de la surface, l'évaporation et les vents (1). Il est bien étonnant que le savant explorateur des Alpes qui indique dans plusieurs passages de ses Mémoires le véritable système de la formation des glaciers inférieurs, paraisse dans celui-ci et dans quelques autres ne pas avoir une idée bien juste sur cet ensemble qui lie les glaciers-réservoirs aux glacier d'écoulement. Il n'est pas douteux que si cet observateur scrupuleux des phénomènes des montagnes se fût occupé d'une manière spéciale des glaciers comme il l'a fait pour les roches ou la météorologie, il aurait compris que les causes de di-

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 4, pag. 204.

minution qu'il indique sont trop inférieures aux causes d'accroissement pour rendre raison de l'espèce d'immutabilité des glaciers supérieurs. En effet, la fonte au fond des glaciers est une supposition à très-peu près gratuite, qui n'est pas même démontrée par l'écoulement des eaux, qui ne commence que dans les régions bien inférieures aux glaciers-réservoirs. En admettant comme un fait la chaleur centrale, qui n'est pas encore un dogme démontré pour tous les physiciens, et dont on commence à revenir comme d'une assertion dont les preuves ne sont pas irrécusables, on comprendra que l'effet de ce feu déjà si peu sensible au niveau de la mer, doit l'être bien moins au sommet d'une pointe granitique qui s'élève à 14 mille pieds au-dessus. Là même où cette chaleur, non pas centrale, mais souterraine, existe d'une manière incontestable et à un haut degré de température, son action est peu sensible sur la fonte des neiges. A la hauteur de 9 mille pieds, le Mont-Etna est entouré d'une ceinture de neige qui ne fond jamais entièrement; à plus forte raison en serait-il de même d'une montagne de la même élévation et placée sous le même parallèle, et qui serait dépourvue des feux souterrains qui ne cessent jamais dans l'intérieur de l'Etna. Au 24 mai 1834, M. de Tilly, qui pénétra dans le grand cratère de ce volcan, y trouva un banc de neige qui avait jusque-là résisté à la chaleur interne

aussi bien qu'à la fumée volcanique dont il était presque toujours entouré (1). L'action de la chaleur centrale est constante et uniforme dans le même lieu, comme l'ont prouvé les expériences faites dans les caves de l'Observatoire de Paris. Si donc cette action indépendante de la température atmosphérique agissait constamment sur la surface intérieure des glaciers, il y aurait pendant l'hiver une fusion continue que l'on pourrait apprécier par la quantité d'eau qui sortirait de dessous le glacier. Or, cette quantité est à peine suffisante pour représenter l'eau des sources qui doivent naturellement couler dans le fond de la vallée du glacier, et qui doivent répondre à l'étendue considérable du terrain qu'il occupe et à la hauteur des montagnes qui l'entourent.

Enfin, il est un phénomène qui démontre plus que tous les autres la nullité ou au moins l'insuffisance de la chaleur centrale pour opérer la fusion des glaces. Il y a dans différentes régions des glaciers souterrains qui demeurent dans une perpétuelle immobilité, pour lesquels on n'aperçoit aucune trace de fusion. Tels sont ceux qui se trouvent dans les Bauges, aux environs de Chambéry. L'hiver rend à cette glacière naturelle ce qu'on lui enlève pendant l'été ; mais la fusion

(1) *Ascension aux cimes de l'Etna et du Mont-Blanc*, par M. le comte Henri de Tilly, page 27.

est nulle dans les parties inférieures. Ce fait ne prouve pas en faveur de l'action de la chaleur centrale sur la fusion des glaciers. Jusqu'à plus ample informé, je regarde donc cette fusion comme nulle. Reste la fusion à la surface des glaciers, qui me paraît plus nulle encore ; et ici il y a contradiction évidente entre l'assertion de M. de Saussure et toutes ses expériences. Elles ont été faites dans le temps le mieux choisi, le plus chaud de l'année, dans les heures où la température atteint son maximum d'élévation, et le résultat n'a pas une seule fois été favorable à la fusion, le thermomètre est toujours resté au-dessous de zéro.

Pendant un séjour de plus de 15 jours fait dans le mois de juillet au col du Géant, dans une station qui n'est élevée que de 10,578 pieds au-dessus du niveau de la mer, il a tous les soirs trouvé la congélation, ou la neige ou la grêle ; et la température de cette moitié de juillet a été à très-peu près celle du mois de janvier de la ville de Genève, d'où l'on peut, ce me semble, conclure qu'à des hauteurs plus grandes la fusion est non-seulement insensible, mais entièrement nulle. Ce n'est pas assez ; les observations faites dans le même lieu ont prouvé qu'il y avait encore congélation à la surface de la neige même, quand le thermomètre donnait à l'air atmosphérique plus d'un degré de chaleur. Voici comment il s'exprime sur la température des neiges : « Sur les hautes Alpes

« la surface de la neige gèle pendant la nuit, lors-
« que le temps est clair, dans toutes les saisons de
« l'année. Cette congélation n'est que superficielle
« sur les glaciers élevés seulement de 900 ou de
« 1,000 toises au-dessus de la mer; mais à la hau-
« teur de 1,200 toises et au-dessus, la neige se
« durcit à la profondeur de plusieurs pouces; il se
« forme ainsi à la surface une croûte assez solide
« pour porter des hommes. Sous cette croûte gelée
« la neige demeure à zéro ou au terme de la congé-
« lation (1).

On ne m'objectera pas qu'il peut y avoir fusion dans l'intérieur des glaciers; car c'est une propriété que je crois inhérente à la glace, du moins quand elle est parfaitement compacte, de conserver une température qui est constamment au-dessous de zéro. La raison en est simple : tout le calorique dirigé sur la glace est employé à la surface pour y opérer une fusion proportionnelle à sa quantité; quand la fusion est opérée, la molécule d'eau emporte et garde le calorique qui lui est strictement nécessaire pour son état, et jamais un rayon calorifique ne peut dépasser la première surface de la glace pour élever la température de l'intérieur. Ainsi, de même que les nouvelles quantités de calorique fournies à l'eau bouillante sont

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 4, page 251.

employées à la vaporisation, sans pouvoir élever au-dessus la température de l'eau ; de même les quantités de calorique fournies à la glace sont employées à la fusion, sans jamais pouvoir élever la glace au-dessus de zéro. Il ne peut donc y avoir fusion à l'intérieur des glaciers. On sent que je ne parle pas du cas où il y aurait des courants d'air par des fissures.

Enfin, quand même personne ne serait encore parvenu sur ce sommet glacé, on aurait pu décider, par les notions acquises en météorologie que la fusion ne peut y avoir lieu. On sait que la moyenne température baisse assez rapidement à mesure que l'on s'élève. Les observations les plus générales portent à croire que pour chaque centaine de toises d'élévation, la température moyenne baisse d'un degré de R. en suivant la même latitude. En partant donc du niveau de l'Océan, où la température moyenne est d'environ + 12°, et en s'élevant de 2,450 toises pour arriver jusqu'au sommet du Mont-Blanc, on aurait un abaissement de 24° pour arriver à la température moyenne des glaciers supérieurs, ce qui porterait cette moyenne à 12° au-dessous de zéro.

L'expérience prouve encore que plus on s'élève, plus les extrêmes de température sont rapprochés, et d'après ce principe, l'extrême du côté de la chaleur ne pourrait jamais dépasser zéro d'une quantité suffisante pour produire la fusion.

Il y a, relativement à la fusion de la glace, des circonstances qui ne sont pas encore connues. Quelques expériences m'ont prouvé que la neige absorbe une grande quantité de calorique avant d'entrer en fusion.

J'ai rempli de neige pulvérulente tombée par un froid de 5 degrés au-dessous de zéro (1), un cylindre de verre de deux pouces de diamètre et de cinq de hauteur ; j'ai placé ce cylindre vis-à-vis d'un foyer, sur un point où le thermomètre marquait + 20°. La fusion ne s'est point d'abord manifestée ; mais pendant plus de cinq minutes le cylindre de neige s'est raccourci d'un tiers sans cesser d'être cylindrique ; son diamètre a diminué à peu près d'autant ; c'est-à-dire qu'il y a eu contraction dans toute la neige vers son centre, et ensuite a commencé la fusion.

Il se passe quelque chose de semblable pour la glace. Quand on veut remplir une glacière, on brise la glace que l'on y porte en très-petits fragments, ensuite on l'arrose avec de l'eau dont la température est d'environ huit degrés au-dessus de zéro, et pourtant le tout se convertit en une masse compacte de glace ; il y a eu dans ce cas un emploi considérable

(1) Toutes mes indications de température sont faites d'après le thermomètre de Réaumur.

de calorique, qui, non-seulement n'a pas été employé à la fusion, mais qui n'a pas même arrêté la congélation dans un endroit où l'atmosphère était au-dessus de zéro. Ceci nous explique un fait bien reconnu des observateurs : quand la terre a été couverte d'une certaine quantité de neige, on voit au bout de peu de jours cette couche s'amincir de moitié et même plus, sans qu'il y ait eu ni fusion, ni pluie, ni vent. On explique cette diminution de volume par la vaporisation et par la pression de la neige sur elle-même ; sans nier l'action de ces deux causes, je crois que la principale vient de l'affinité, et dans l'expérience que j'ai citée, cette action, favorisée par le ramollissement de la neige exposée à la chaleur, ne fait que se manifester d'une manière plus instantanée.

Enfin, d'après toutes les descriptions que M. de Saussure donne des glaciers, ils sont composés de diverses couches étendues les unes sur les autres, et leur densité augmente avec la profondeur des couches, de sorte que celles qui touchent la surface des rochers sur lesquels elles reposent, sont de la glace compacte, blanche et assez transparente ; mais comme la glace n'est point perméable à l'eau, il s'ensuit que lors même qu'il y aurait quelquefois fusion à la partie supérieure, l'eau qui en résulterait ne ferait que descendre pour se congeler sur la première couche

imperméable, ce qui ne constituerait point une cause de décroissement pour les glaciers supérieurs. Il me paraît donc démontré que la fusion, nulle pour les glaciers-réservoirs, ne commence que dans la région des glaciers d'écoulement.

La deuxième cause de décroissement est la vaporisation, que l'absence du calorique doit réduire à peu de chose dans les régions des glaces éternelles.

La troisième cause est le vent; celle-ci est d'une assez grande puissance. Quand, après la chute de la neige sur le sommet du Mont-Blanc, vient à régner un vent froid ; il balaie toutes les sommités, et l'on voit se détacher du haut des glaciers des nuages de poussière qui tourbillonnent dans les airs, ou qui partent du point le plus élevé et s'éloignent en divergeant comme la queue d'une comète. On dit alors que le Mont-Blanc *fume sa pipe*. En été, cette poussière de neige vient se fondre dans les régions inférieures de l'atmosphère, et en hiver elle s'entasse dans le fond des vallées; subtile et emportée par le vent, elle pénètre dans les chaumières par les moindres ouvertures ; il n'est pas rare d'en trouver plus d'un pied au-dessous du trou de la serrure d'une porte. Cependant cette cause n'est pas perpétuellement agissante, et quand la neige est contractée ou qu'elle est recouverte d'une surface vitreuse, le vent ne peut la disperser. Il faut donc chercher une autre cause de

décroissement pour rendre raison de la permanence des glaciers dans une élévation donnée.

Ceux qui habitent autour des glaciers, tous ceux qui les ont visités, et ceux surtout qui ont effectué ou seulement tenté des ascensions au sommet du Mont-Blanc, ont indiqué cette cause sans précisément la regarder comme telle : ce sont les avalanches et les écoulements de glace.

CHAPITRE V.

PASSAGE DE LA NEIGE A LA GLACE.

Un phénomène qui paraît incontestable, c'est le passage ou plutôt la conversion de la neige en glace. D'après le rapport de tous les voyageurs, la surface visible des glaciers est de la neige plus ou moins dure, selon le temps où on l'examine. Ils n'ont trouvé la glace qu'accidentellement dans les crevasses, sur les flancs des glaciers ou dans le lit des avalanches.

D'après M. de Saussure, la glace qui forme les glaciers inférieurs est plus dure, plus compacte que celle qui se rencontre plus haut ; sa dureté va diminuant à mesure qu'elle s'élève. « La solidité de la « glace décroît par degré à mesure que l'on remonte « vers le haut ; et sur les sommités mêmes, si du « moins elles sont isolées, on ne trouve jamais que

« des neiges (1). » Mais ce qui est neige à la surface devient glace dans les couches inférieures, et le passage paraît assez insensible. Voici ce qu'en dit M. de Saussure en parlant de diverses masses de glace qui étaient descendues du *Dôme-du-Goûté*. Il donne à ces masses le nom de *seracs*.

« J'eus cependant, dit-il, du plaisir à observer « ces seracs que l'on a rarement occasion de voir « d'aussi près. J'en mesurai qui avaient plus de 12 « pieds en tous sens; le fond, soit la partie qui avait « été contiguë au roc, était une glace à petite bulles, « translucide, blanche, dure, plus compacte que « celle des glaciers ordinaires; la face opposée qui « avait été originairement la face supérieure, était « encore de la neige quoique un peu durcie; et « on voyait dans le même bloc toutes les nuan- « ces entre ces deux extrêmes (2). » D'où l'on peut conclure que le temps favorisant l'action de l'affinité et en même temps la pression des couches les unes sur les autres, rapprochent les petits cristaux qui forment la neige, et en les amenant au contact, les font passer à l'état de glace. Cependant, comme il y a contraction entre les parties de l'ensemble, il paraît qu'il doit s'opérer des fissures latérales, et

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 1, page 575.
(2) *Idem.* tome 4, page 165.

quand la masse est mise en mouvement par les avalanches, elle doit se diviser d'abord dans les joints qui séparent les couches, et ensuite par les fissures latérales formées par le retrait. C'est sans doute ce qui donne lieu à ces blocs de glace qui ont la forme régulière du quadrilatère. Ce serait une véritable cristalisation. J'ai vu sur les flancs du glacier de Bionacey qui tombe dans la vallée de Montjoie, des tranches de glace reposant les unes sur les autres en forme d'assises tout-à-fait différentes par la couleur, la contexture et la densité. Les couches supérieures sont une neige agglomérée et d'un blanc sâle ; à mesure qu'elles descendent, la glace devient plus compacte et prend la couleur verdâtre, qui paraît être la sienne.

Dans les régions moyennes où la fusion s'opère jusqu'à un certain point, l'eau produite par ce moyen s'infiltre à travers les neiges, s'y solidifie et les change en glace. C'est un fait connu dans les Alpes : toutes les fois que vous rencontrez une grande avalanche qui a résisté aux chaleurs de l'été et qui est renfermée dans un fond où l'eau peut s'arrêter, vos guides disent : ces neiges seront des glaces au printemps prochain. Dans les régions inférieures où il y a fusion des glaciers, l'eau qui coule par de petites rigoles sur cette glace bulleuse, la polit et lui rend sa couleur vert tendre qu'elle n'a pas ordinairement ; on dirait que ces petits ruisseaux coulent dans des conduits d'aigue-marine ou de béril.

Ainsi, pour résumer ce chapitre, je crois pouvoir conclure que la métamorphose de la neige en glace s'opère, 1° par la pluie qui tombe sur la neige, 2° par les vapeurs qui se condensent à la surface de la neige, 3° par le ramollissement des neiges par le soleil, 4° enfin par la pression, que je regarde comme le moyen le plus efficace.

CHAPITRE VI.

DES AVALANCHES ET DES ÉCOULEMENTS.

Le sommet du Mont-Blanc est une crête un peu arondie qui a des pentes de tous les côtés. Ce que l'on est convenu d'appeler plateau, n'est qu'une pente moins rapide que les autres. Ce que nous disons ici du Mont-Blanc doit s'entendre aussi de la surface la plus élevée de toutes les montagnes, mais surtout des montagnes primitives, qui se terminent le plus ordinairement par des aiguilles plus ou moins rapprochées. Les montagnes calcaires, qui ont des sommités plus uniformes, ont cependant aussi un versant assez rapide formé par le redressement des couches supérieures. Lorsque la neige s'est accumulée pendant quelques temps sur ces pentes, son propre poids la détermine à tomber le long des flancs de la montagne; c'est ce que l'on appelle avalanches. Lorsque la pente

est plus douce et se rapproche de la ligne horizontale, les couches de neige reposant pendant long-temps les unes sur les autres, donnent lieu à la formation de la glace, et ce n'est que sur les bords du glacier que viennent peu à peu se détacher des blocs de glace qui descendent au fond des précipices.

Lorsque les glaces couronnent une crête taillée à pic, la glace entraînée par son propre poids déborde le rocher, s'avance sur le précipice en forme d'avant-toit, et quand sa solidité ne fait plus équilibre à la pesanteur de cette masse, elle se rompt, se brise contre les flancs des rochers, et tombe presque en poussière dans les vallées environnantes.

Lorsque la pente est radoucie et uniforme jusqu'au fond des vallées, la glace y coule lentement sans aucune des grandes catastrophes qui accompagnent les avalanches, seulement il y a quelquefois des ruptures entre la glace qui descend et celle qui est encore retenue par des obstacles. Tous les voyageurs qui sont parvenus dans les glaciers supérieurs ont été témoins de ces avalanches, de ces chutes, de ces avancements. Il y a peu de jours dans l'année où ces hautes montagnes ne retentissent pas du craquement des glaces qui se fendent et du fracas de celles qui tombent : voilà quelles sont les véritables causes de décroissement des glaciers supérieurs. Ces neiges et ces glaces qui se détachent des froides sommités des montagnes, sont

comme *le trop plein* qui sort d'un réservoir, c'est un excédant qui part pour aller se fondre dans une région tempérée, et cet excédant doit toujours être à peu près égal à la chute des pluies, des neiges, et à la condensation des vapeurs : c'est par cette espèce d'équilibre que la hauteur du Mont-Blanc doit être toujours la même, quoique que les neiges n'y fondent pas.

La nature s'est chargée elle-même de donner à cette théorie de l'écoulement des glaciers une démonstration à laquelle l'esprit ne peut se refuser; la voici : le haut du Mont-Pourri qui borde la vallée de Tignes en Tarantaise, présente un grand plateau et recouvert d'une puissante croûte de glace qui, au lieu de s'écouler par des couloirs le long des flancs de la montagne, descend par cascades du sommet des rochers taillés à pic. Le glacier de Lagurraz est un des plus curieux parmi ceux des Alpes. A dix minutes de distance du village de Lagurraz, la montagne présente un escarpement de plus de six cents pieds d'élévation. A cette hauteur, la tranche vive du rocher est continuée par la tranche vive des glaces supérieures qui paraissent avoir environ cent cinquante pieds d'épaisseur. A mesure que la glace se forme sur le plateau, l'excédant de ce que peut contenir le glacier-réservoir s'avance par côté, sur le bord du précipice, et quand le poids de la partie qui déborde vient à dépasser la

force de cohésion qui unit entre elles les parties de la glace, elle se rompt et tombe au pied de la montagne, dans un creux qui en est toujours plein; là elle se fond sans s'étendre davantage, et donne lieu à un torrent dont la source ne remonte pas plus loin. C'est une source intermittente de glace qui produit une source continue d'eau.

En recherchant les causes de la diminution des glaciers, il m'est venu dans l'esprit qu'il serait possible que la glace, malgré sa dureté et sa rigidité, ne pût supporter sans se briser ou s'étendre qu'une pression donnée. Dans cette supposition, toutes les fois que la pression dépasserait cette force il y aurait rupture des glaces, et par là-même écoulements. Prenons au sommet du plateau du Mont-Blanc une colonne de glace reposant sur une base horizontale. La glace qui forme la première assise de cette colonne est comprimée par le poids de toutes les assises supérieures; mais si la solidité de cette première assise ne pouvait supporter qu'un poids égal à 100, dès que le poids dépasserait ce terme, il y aurait rupture et écartement dans la glace de la base. Or, il se passe quelque chose d'assez semblable dans l'immense croûte de glace qui recouvre les sommités du Mont-Blanc. Cette croûte paraît s'accroître par la surface supérieure et diminuer par les côtés. Pour s'assurer si l'écoulement est dû à la force de pression, il faudrait faire sur la soli-

dité de la glace une suite d'expériences qui n'ont point encore été tentées.

CHAPITRE VII.

DES GLACIERS D'ÉCOULEMENT.

De tous les mouvements qu'éprouvent les glaciers, le plus intéressant et en même temps le plus difficile à concevoir est le mouvement lent, insensible, et, selon toutes les apparences, permanent, des glaciers d'écoulement, de ces fleuves d'eau solide que l'on voit descendre en ligne droite ou serpenter du bord des glaciers-réservoirs jusque dans les vallées habitées par l'homme. La vue de ces immenses coulées de glace qui s'avancent entre des rives couvertes de fleurs, jette dans l'esprit des pensées de perpétuité, de providence et de mort qui élèvent et attristent l'ame. Je m'arrêtai vers un champ de seigle qui était à côté du glacier des Bossons. Un épi presque mur et balancé par le vent allait à chaque instant toucher la glace et revenait sur lui-même, comme effrayé par cet hôte étranger venu d'un climat qui n'a de puissance que pour la mort.

Revenons à l'origine des glaciers inférieurs, que j'appelle glaciers découlement. Les sommités du Mont-

Blanc sont hérissées d'aiguilles granitiques, d'arêtes rocheuses qui retiennent les glaces et les empêchent de couler également sur tous les flancs de la montagne; mais entre ces aiguilles, entre ces arêtes de rochers, il y a des espèces de vallées, des couloirs qui servent de canaux pour la sortie des glaces du réservoir. Ces canaux, qui sont nombreux à la sortie même des glaciers supérieurs, se réunissent peu à peu en descendant vers les vallées.

S'il était nécessaire de démontrer que les glaciers inférieurs sont alimentés, entretenus par les glaciers supérieurs, il suffirait de remettre sous les yeux du lecteur un ensemble de faits d'où cette vérité découle tout naturellement.

1° Ces glaciers sont placés dans une région où la fusion des glaces étant plus considérable que la formation, il y aurait nécessairement destruction du glacier s'il n'y avait pour eux une source alimentaire. Car même en supposant dans cette localité un amas primitif de glace apportée par des avalanches ou par d'autres causes, il y aurait toujours un temps où arriverait la destruction totale du glacier, puisqu'après avoir fondu la glace de l'année, il y aurait encore un excédant de calorique pour attaquer et diminuer chaque année la glace que j'appelle primitive, parce qu'elle ne proviendrait pas des chutes annuelles.

2° Toutes les fois que l'on rencontre un glacier permanent dans la région que j'appellerai céréale, pour indiquer sa température, on peut, sans s'exposer à se tromper, affirmer d'avance que l'autre extrémité de ce glacier aboutit aux glaciers-réservoirs, et qu'entre ces deux extrêmes, il n'existe pas de solution de continuité. Quand il n'y aurait de démontré que cette liaison qui est un fait incontestable, elle suffirait pour démontrer l'origine des glaciers inférieurs.

Voici ce que M. de Saussure dit en parlant du glacier des Bossons : « Il est bien certain qu'il y a une « continuité non interrompue de neige et de glace « depuis la cime du Mont-Blanc jusqu'au bas du gla- « cier des Bossons. » Et ce qu'il dit de celui-là, doit se dire de tous les autres.

3° La masse du glacier est en raison inverse de la pente sur laquelle il coule. Quand le couloir est rapide, la glace est mince et sa surface est rétrécie; quand la pente diminue et se rapproche de la ligne horizontale, le glacier se renfle, il devient comme une mer, comme un lac entre deux courants. Ces faits sont faciles à vérifier par la seule inspection du glacier des Bois, vu depuis le Mont-Envers.

Rien ne démontre mieux jusqu'à quel point le glacier se plie au local sur lequel il se trouve, que la forme du glacier du *Mont-Dolent* dans la vallée de

Ferret: « Son plateau le plus élevé est un grand cir-
« que entouré de hauts feuillets de granite, de forme
« pyramidale ; de là, le glacier descend par une
« gorge, dans laquelle il est resserré ; mais dès qu'il
« l'a dépassée, il s'élargit de nouveau et s'ouvre en
« éventail : il a donc en tout la forme d'une gerbe
« serrée dans le milieu et dilatée à ses deux extré-
« mités (1) ».

Il y a une foule de faits qui sembleraient faire croire que la substance des glaciers jouit d'une espèce de ductilité qui lui permet de se modéler sur la localité qu'elle occupe, de s'amincir, de se renfler, de se rétrécir et de s'étendre comme le ferait une pâte molle. Cependant, quand on agit sur un morceau de glace, qu'on le frappe, on lui trouve une rigidité qui est en opposition directe avec les apparences dont nous venons de parler. Peut-être que les expériences faites sur de plus grandes masses donneraient d'autres résultats.

4° Plus le canal de dégorgement est vaste à la sortie du glacier-réservoir, ou, ce qui revient au même, plus un glacier principal reçoit dans son lit de glaciers particuliers, plus il s'avance dans le fond des vallées, parce qu'alors la quantité de glace étant plus grande, l'emploi du calorique pour la fusion doit

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 2, page 247.

lui être proportionné, et par conséquent la coulée de glace avant d'être fondue a le temps de pénétrer plus avant dans la région céréale. Le glacier des Bois, qui reçoit dans son lit les écoulements de trois grands glaciers, celui du Tacu, celui de Lechaux et celui du Talêfre, est aussi l'un de ceux qui s'avancent le plus vers le fond de la vallée.

5° Il y a plusieurs indices qui prouvent le mouvement des glaciers dans les couloirs qui leur servent de lit; je n'en indiquerai que deux. Si l'on remarque un point du glacier reconnaissable par une crevasse ou une pyramide de glace, ou même par un des blocs de rocher qui se trouvent à la surface, et que l'on fixe sa situation par une ligne qui aboutisse aux deux côtés de la vallée, on sera étonné quelques mois après de ne plus trouver le point indiqué sous la ligne qui établissait sa position; mais il aura avancé vers le bas de la vallée d'une quantité qui sera en rapport avec la durée de l'expérience, la température, la quantité d'eau tombée sur le glacier-réservoir, et même avec l'inclinaison du couloir. On m'a montré sur le bord du glacier des Bois un gros rocher granitique qui s'était avancé d'environ deux cents quarante-deux pieds dans le cours d'une année.

En 1818, la partie du glacier qui est vers la mer de glace s'est avancée de quatre cents quarante-deux pieds. En 1817, les glaces avançaient à peu près

d'un pied par jour. J'avais fixé en 1838 la position de deux blocs de rochers qui étaient à la surface du glacier des Bois; une année après je suis allé mesurer le chemin qu'ils avaient parcouru; l'un avait avancé d'environ quatre cents pieds, et l'autre avait disparu, soit qu'il fût tombé dans une crevasse formée près de lui, soit qu'il fût tombé sur le bord du glacier, comme nous verrons que cela arrive assez fréquemment.

6° A l'endroit où vient finir un glacier, c'est-à-dire dans le point de sa course où il a atteint la température qui lui était nécessaire pour subir une fusion totale, on voit toujours un dépôt plus ou moins considérable de toutes les substances qu'il a charriées. Ce sont des sables, des terres et des rochers de toutes les grandeurs. Si l'on examine la nature de ces rochers, on est, pour l'ordinaire, forcé de convenir qu'ils n'ont pas d'analogie avec le terrain sur lequel ils reposent, ni même toujours avec les montagnes qui bordent le courant; pour retrouver les analogues il faut remonter vers les sources des glaciers, et conclure que les glaciers voyagent à la manière des fleuves.

7° Enfin c'est à l'extrémité inférieure du glacier que l'on voit les signes les plus manifestes de sa destruction. Contentons-nous de décrire l'extrémité inférieure du glacier des Bois, celui que visitent le plus les voyageurs. Quand la saison des chaleurs arrive, il se forme au bout du glacier, à l'endroit même

où les eaux de l'Arveron s'échappent de dessous la glace, une grotte qui d'abord étroite et basse, se grandit rapidement sous l'influence de l'eau, de la vapeur et des autres agents atmosphériques. Quand la hauteur et l'étendue de cette voûte de glace a atteint les proportions que peut comporter la solidité des matériaux qui entrent dans sa construction, elle a un aspect extrêmement imposant. C'est un vaste portique de plus de cent pieds d'élévation creusé dans une immense façade, et surmonté de hautes pyramides de glace. Non, rien n'est plus étonnant que ce travail des élémens dont la nature seule a fourni le plan et achevé la construction. Du fond de la caverne s'échappe en mugissant l'eau écumeuse et jaunâtre de l'Arveron. Quand l'érosion et la chaleur ont miné les fondements de ce fusible édifice, il s'écroule avec un fracas qui, pareil à celui du tonnerre, retentit au loin dans la vallée. Les eaux entraînent les débris ou les fondent sur place, la voûte se reforme et tombe de nouveau ; ces chutes de glace sont pour ainsi dire journalières, et pourtant il est facile de voir que le glacier vient toujours aboutir aux environs d'un même point, et n'éprouve entre son plus grand et son plus petit avancement que des variations dont nous indiquerons la cause plus tard.

Quand on ne compterait que les lames de glace détachées vers ce point du glacier pendant un siècle,

en supposant qu'il n'y eût pas eu d'écoulement de glace, on serait forcé de chercher le glacier beaucoup plus haut.

La rivière de l'Arc qui parcourt toute la vallée de la Maurienne, prend sa source sous un glacier dans les montagnes de Bonneval. Ce glacier découlement descend par un couloir très-incliné, et là on peut mieux qu'ailleurs observer le phénomène de l'écoulement des glaciers. La masse qui remplit le couloir est divisée par des fentes transversales, et souvent après le glissement d'une tranche inférieure, on voit le fond du couloir dans l'intervalle qui la sépare de la tranche supérieure, qui glissera bientôt elle-même pourfaire place à une autre.

J'ai déjà dit que le glacier des Bois était alimenté par trois glaciers, celui du Talêfre, de Tacu et de Lechaux. Chacun de ceux-ci est lui-même alimenté par plusieurs autres glaciers d'un troisième ordre. Voici comment M. de Saussure décrit le glacier du Talêfre : « Ce glacier s'élève par gradation jusqu'au « pied d'une enceinte exactement demi-circulaire « qui le ferme du côté du nord. Cette enceinte est « formée par des pics de granite extrêmement éle- « vés qui se terminent par des sommités aiguës, de « formes infiniment variées. Les intervalles de ces « pics sont remplis par des glaciers qui viennent se « verser dans celui du Talêfre. »

Le même auteur a vu dans la vallée de Ferret un glacier alimenté par cinq glaciers qui lui apportaient le tribut de leurs glaces; une foule de petits glaciers tombent dans le vaste glacier de Bionnassay; trois glaciers se versent dans celui du Miage aux environs de Cormayeur, et il en est ainsi de presque tous les autres. C'est donc pour l'observateur une nécessité de conclure que les glaciers inférieurs sont des fleuves solides qui prennent leur source dans les régions glaciales, et qui viennent dans les régions tempérées se changer en fleuves liquides. Si, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la formation des glaces est considérable sur toute l'étendue des sommités qui entourent le Mont-Blanc, les canaux par lesquels il se décharge sont aussi très-nombreux. Le seul massif du Mont-Blanc est entouré de 14 glaciers d'écoulement, qui sont eux-mêmes alimentés par un nombre bien plus considérable de glaciers du second ordre. Comme toute la crête des Alpes suisses dépasse ordinairement la ligne de fusion, elle se trouve couverte de neiges perpétuelles, et sur tous les points elle entretient des glaciers; on en compte plus de quatre cents depuis le Mont-Blanc jusque dans le Tyrol.

CHAPITRE VIII.

DU MOUVEMENT DES GLACIERS D'ÉCOULEMENT.

Quoique la plupart des auteurs qui ont parlé des glaciers inférieurs aient sur leur origine et leur formation des idées assez fausses, tous cependant conviennent qu'il existe pour eux un mouvement de transport qui les fait avancer vers le fond des vallées; mais dès l'instant où ils veulent faire connaître la nature et la quantité de ces mouvements, ils tombent dans le vague et souvent même dans le ridicule. En effet, c'est là, selon moi, le véritable nœud gordien. Le fait du mouvement existe, la progression des glaciers est démontrée; mais le mode est entièrement inconnu. Peut-être avec de longues observations, des expériences bien faites sur la glace et la neige, viendra-t-on à bout de le saisir; mais ces premiers éléments nous manquent encore.

Il y a dans les glaciers deux espèces de mouvement, l'un instantané et l'autre insensible. Si dans son cours le glacier rencontre une pente très-rapide, escarpée, verticale, alors la glace se fend, tombe par blocs séparés les uns des autres. Un mouvement semblable est décrit dans le passage suivant de M. de Saussure: « Tout le bas de cette haute cime (le dôme de l'Ai-

« guille) était couvert de glaciers excessivement es-« carpés qui se versaient dans celui de Bionnassay; « à chaque instant il se détachait de ce glacier des « masses énormes de glace que nous voyions tomber « et se précipiter avec un fracas horrible, et se ré-« soudre en des tourbillons de poussière que l'air, « refoulé par la chute des glaces, soulevait comme « des nuages à une hauteur étonnante (1). »

Sa chute n'est pas toujours aussi rapide; alors pourtant on aperçoit sur la surface du glacier des signes non équivoques d'un mouvement brusque, d'une perturbation: ce sont des fentes, du bouleversement dans la disposition des masses de glaces. Voici comment M. de Saussure depeint un passage rapide du Talêfre: « Comme la pente par laquelle ce glacier « descend est extrêmement rapide, ses glaçons se « pressent mutuellement, se dressent, se relèvent et « forment des fours, des pyramides diversement « inclinées, qui semblent prêtes à écraser le voyageur « téméraire qui oserait s'en approcher (2). »

Quand la pente est radoucie, les mouvements brusques sont plus rares; mais pourtant ils se manifestent encore par des fentes subites et des avancements de blocs de glace. Les habitants des pays qui

(1) *Voyage dans les Alpes,* tome 2, p. 475.

(2) *Voyage dans les Alpes,* tome 2, p. 24.

avoisinent les glaciers donnent à ces mouvements qui leur sont connus le nom de *crue de glacier*. Voici comment décrit ce mouvement un ministre de Grindelwald, qui en a été témoin en traversant le glacier qui est aux environs de ce village : « A peine étions-« nous placés, dit-il, que le singulier phénomène « appelé *crue de glacier* se manifesta par un bruit « affreux ; tout autour de nous paraissait se mouvoir « de soi-même : fusils, bâtons, carnassières. Des « rocs en apparence solidement établis dans la glace, « commencèrent à se détacher et à s'entrechoquer ; « des crevasses de 10 et de 20 pieds de largeur s'ou-« vrirent à nos yeux avec un fracas épouvantable ; « d'autres se fermant tout-à-coup, lancèrent à « une grande hauteur l'eau qu'elles contenaient. La « masse entière du glacier si agitée tout-à-coup, « s'était avancée de quelques pas ; mais tout rentra « bientôt dans un repos et un silence profond, à peine « interrompu par le sifflement des marmottes (1). » En retranchant de cette description la poésie, qui montre les rochers *s'entrechoquant*, on y découvre la généralité d'un mouvement brusque produit, selon toute apparence, par l'avancement d'une partie du glacier. Nous en saurions davantage si les témoins de

(1) Cité d'après la *Géographie de Maltebrun*, volume 7, page 101.

cette scène s'en étaient tenus à une description scientifique.

M. Venetz rapporte qu'un glacier de la vallée d'Hérens « avançait avec un bruit semblable à celui « du tonnerre, faisant à la fois des pas de plus de dix « pieds de longueur. » Sans prendre à la lettre ces descriptions qui portent avec elles des caractères d'exagération, on peut croire aux mouvements qui les ont motivées. Passons maintenant aux mouvements insensibles.

Rien ne me paraît plus clairement démontré que le mouvement progressif des glaciers vers le bas de la vallée, et rien en même temps ne me semble plus difficile à concevoir que la manière dont s'exécute ce mouvement si lent, si inégal, qui s'exécute sur des pentes différentes, sur un sol garni d'aspérités, et dans des canaux dont la largeur varie à chaque instant. C'est là, selon moi, le phénomène le moins explicable des glaciers. Marche-t-il ensemble comme un bloc de marbre sur un plan incliné ? . . . Avance-t-il par parties brisées comme les cailloux qui se suivent dans les couloirs des montagnes ? . . . S'affaisse-t-il sur lui-même pour couler le long des pentes, comme le ferait une lave à la fois ductile et liquide ? . . . Les parties qui se détachent vers les pentes rapides suffisent-elles à imprimer du mouvement à celles qui reposent sur une surface horizontale ? Je

l'ignore. Peut-être encore pourrait-on dire que dans les grands froids l'eau qui remplit les nombreuses crevasses transversales du glacier venant à se congeler, prend son accroissement de volume ordinaire, pousse les parois qui la contiennent, et produit ainsi un mouvement vers le bas du canal d'écoulement.

Portons nos regards, sur la partie du glacier des Bois qui avoisine le Mont-Envers. Là il offre l'aspect d'une mer de glace dont la surface agitée serait dans un plan à peu près horizontal. Cette masse étendue, profonde, compacte, rigide, qui touche à des bords inébranlables, qui tantôt s'élargissent, tantôt se resserrent, est cependant en mouvement. Ici point de rupture, car les crevasses que l'on y rencontre ne sont pas des fentes comme celles dont nous avons parlé plus haut : nous verrons ailleurs leur origine, qui n'est pas due au mouvement du glacier. Cependant il avance là tout comme dans les parties où la pente est plus rapide. J'ai cherché à apprécier la quantité de son mouvement ; mais je n'ai pu recueillir que des données un peu vagues. J'ai interrogé mes guides sur la position d'un énorme rocher qui est au bord du glacier, mais encore sur la glace et par conséquent soumis à son mouvement. Les guides m'ont montré l'endroit où il était l'année précédente, et celui où il était il y a trois, quatre et cinq ans ; bien plus, ils m'ont montré l'endroit où il se trou-

vera dans un an, deux ans, etc., tant ils croient être certains de la régularité de ce mouvement. Cependant leurs rapports n'étaient pas toujours précisément d'accord, et leurs indications de temps et de distances manquent toujours de cette précision de mesure et de quantité sans laquelle on est obligé de marcher à tâtons dans les sciences physiques. En réduisant ces différentes indications à une moyenne, je trouvai que l'avancement total devait être d'environ 40 pieds par année. Dans mon dernier voyage j'ai obtenu des renseignements plus certains que j'ai consignés dans le chapitre précédent, et l'énorme différence qui se trouve entre les deux résultats provient de ce que les dernières observations ont été faites au milieu du glacier d'écoulement, qui marche avec plus de rapidité, tandis que les premières ont été faites sur le bord, où la glace est retenue par le frottement des parrois rocheuses. Ebel pense que le mouvement des glaciers n'est en général que de 12 à 25 pieds par année; mais il est facile de comprendre qu'il est impossible d'obtenir une mesure générale, qu'il doit y en avoir une pour chaque glacier. La nature de la pente, le nombre des variations auxquelles elle est soumise, la profondeur des glaces, la largeur du couloir, la forme de ses bords, et mille autres circonstances doivent faire varier la vitesse des glaces, et ces circonstances ne sauraient être absolument les

mêmes partout. Bien plus, il n'est pas même facile d'obtenir cette vitesse pour un seul glacier, même avec des observations suivies; en voici la raison. Dans les endroits du glacier où la pente est plus rapide, la couche de glace est plus mince, sa vitesse est plus grande; dans ceux où la pente est presque nulle, les glaces se renflent, s'accumulent; la masse en mouvement étant double, triple, etc., la vitesse n'est que de la moitié, du tiers, etc. Deux observateurs qui partiraient de ces deux points si différents, tireraient l'un et l'autre des conséquences fausses.

Ce n'est pas tout, il y a entre le glacier des Bois et un fleuve une ressemblance tellement complète qu'il est impossible de trouver dans celui-ci une circonstance qui ne soit pas dans l'autre. Dans les courants d'eau, la vitesse n'est pas uniforme dans toute la largeur ni dans toute la profondeur; le frottement du fond, celui des bords, l'action des obstacles font varier cette vitesse, qui n'est entière que vers le milieu de la surface. Or, la seule inspection du glacier suffit pour prouver que la vitesse du milieu est plus grande que celles des rives. La surface entière est coupée par des crevasses qui sont en général transversales à sa direction. Si le mouvement était le même dans toute la masse, ces crevasses qui coupent la surface en ondées parallèles formeraient une ligne droite qui serait toujours à peu près perpendiculaire aux

deux rives; mais il n'en est point ainsi; la ligne générale est une courbe dont la convexité s'avance vers le bas de la vallée, ce qui ne peut être attribué qu'à l'excès de vitesse que les glaces ont sur ce point.

M. de la Béche raconte qu'une échelle qui avait été laissée par M. de Saussure sur le col du Géant en 1787, a été trouvée en 1830 vis-à-vis le pic du Moine, qui se trouve trois lieues plus bas. En suivant le mouvement des glaces, cette échelle aurait avancé d'environ deux cents toises par année. M. Bozet, dans son Cours de Géologie, dit qu'un bloc de rocher du glacier des Bois ne s'est avancé que de cent quatre-vingt-trois mètres dans une année. Pour être vrai, il faudrait découvrir la vitesse moyenne, c'est là le difficile; dans l'impossibilité d'y parvenir, je me contente de donner celle que j'ai cru trouver vers un point où la pente est très-radoucie.

Je ne puis m'empêcher de hasarder ici une idée qui n'a d'autre fondement que l'analogie de position; mais comme elle peut être d'une grande importance pour l'intelligence de la circulation des eaux autour du globe, je la livre aux savants, sans y ajouter moi-même une foi entière. La voici :

Les savantes observations de M. de Humboldt, celles des capitaines Garry, Franklin et Back, ont fourni les moyens d'établir les rapports d'après lesquels s'abaisse la température à mesure qu'on s'élève

vers les pôles et dans la perpendiculaire à l'horizon. Ainsi la ligne isotherme qui marque le commencement des neiges perpétuelles aboutit d'un côté vers le 74me degré de latitude boréale et de l'autre vers le 8,000^{me} pied de la hauteur du Mont-Blanc, de sorte que le sommet de cette montagne doit avoir à peu près la température de la zone glaciale près des pôles de la terre.

Mais cette identité de position ne doit-elle pas produire l'identité des effets? Et les pôles de la terre ne pourraient-ils pas aussi être considérés comme deux immenses glaciers sans cesse entretenus par la condensation des vapeurs qui affluent vers eux par la partie supérieure de l'atmosphère et qui se déchargent de leurs glaces dans les mers environnantes. Dans ce cas, la pression résultant du mouvement de rotation qui a pu produire l'applatissement des pôles, remplacerait l'action de la pesanteur, qui suffit pour faire couler la glace sur les plans inclinés des montagnes; et les masses de glace flottante que l'on rencontre souvent dans les mers polaires, seraient comme les glaciers d'écoulement de nos Alpes. Ce serait toujours des fleuves de glace partant pour aller se fondre dans les zones tempérées. Nous retrouverions encore là un exemple de cette loi de la circulation, si souvent mise en œuvre dans les opérations de la nature.

CHAPITRE IX.

DES TRAINÉES ROCHEUSES.

Quand on examine un glacier d'un point élevé, on voit vers le milieu une, deux et quelquefois trois ou quatre traces de sable, de terre et de blocs de rochers qui s'étendent sur toute sa longueur, en suivant des lignes parallèles aux bords. Ces espèces de lisières de couleur gris-noirâtre qui contrastent avec la glace, étonnent tous les voyageurs. Je leur donnerai le nom de *Traînées Rocheuses*, qui me paraît assez bien les caractériser. On peut se faire, relativement à ces voies pierreuses, plusieurs questions auxquelles on n'a donné que des solutions fauses ou du moins insuffisantes. 1° D'où viennent ces rochers? 2° Pourquoi sont-ils à la surface plutôt qu'à l'intérieur des glaces? 3° Pourquoi vers le milieu plus que vers les bords? 4° Pourquoi divisés en plusieurs traînées? 5° Pourquoi la glace est-elle plus élevée sous chaque rocher? Je vais répondre à chacune de ces questions, dont les solutions me paraissent faciles.

1° Les glaciers passent souvent aux pieds des rochers feuilletés dont ils reçoivent les débris; d'un autre côté, les avalanches n'arrivent guère sans entraîner avec elles des terres et des blocs détachés;

enfin, les glaces qui tombent des sommets escarpés en entraînent aussi : il n'est donc pas étonnant que le fleuve de glace emporte, comme tous les torrents, les débris des montagnes d'où il descend.

2° Pourquoi sont-ils à la surface ? Il y a parmi les montagnards des Alpes un préjugé général qu'ont partagé beaucoup de voyageurs et de naturalistes, c'est que les glaciers rejètent à leur surface tous les corps étrangers qui sont dans leur intérieur. Un guide, en m'endiquant ce fait, se servait d'un axiome qui contenait sur ce sujet toute la croyance du pays : *Le glacier*, me disait-il, *ne garde rien d'impur.*

Voici ce qui a pu donner lieu à cet axiome populaire, que le glacier ne garde rien d'impur, ce qui signifie rien d'étranger à sa substance : en observant attentivement la contexture de la glace, on s'aperçoit que les parties étrangères qu'elle contient ne sont point entrées en combinaison avec sa substance, mais qu'elles se sont réunies entre elles, et qu'elles ont formé des nids, des nodules, de petits amas renfermés dans un vide laissé par la glace. L'air lui-même a été repoussé de la combinaison intime, et s'est réuni en petits globules plus ou moins elliptiques, qui donnent à l'ensemble de la glace cette forme bulleuse dont j'ai parlé ailleurs. Les petits amas de sable sont fort fréquents dans les glaces. Ce n'est ici que la répétition d'un phénomène qui se rencontre dans tous les genres de

cristalisation. Au moment où la cristalisation commence, les parties identiques libres de se mouvoir dans le milieu qui leur sert de véhicule, se cherchent, s'unissent de proche en proche et laissent les parties étrangères dans leur isolement. Celles-ci à leur tour cherchent leurs analogues et forment d'autres sphérules qui, moins nombreuses, restent emprisonnées dans la substance la plus puissante. Cette loi générale de l'assimilation, qui est comme l'ame ou la volonté de la nature, s'observe partout, mais en particulier dans la minéralogie. C'est de là que viennent la formation des *nœuds* dans les rochers, les sphérules cristalines de tous les granitoïdes, les cristaux sur leurs gangues, les géodes dans les rochers où elles sont empâtées, les agrégations amigdaloïdes, les veines des schistes rubannés, les apparences jaspées d'un grand nombre de substances, etc., etc. Mais il faut bien observer que dès l'instant où la solidité est établie entre les parties, chacune garde éternellement sa place jusqu'à ce qu'une puissance venue d'en dehors du système, détruise l'ensemble de la combinaison pour donner un passage aux substances étrangères. Rien donc de ce qui est contenu dans l'intérieur des glaces ne peut en sortir avant que la glace ne soit fondue jusqu'à l'endroit où se trouve la substance étrangère.

Revenons au préjugé reçu. On pense donc qu'un

rocher qui a roulé dans une crevasse profonde, remonte peu à peu vers la surface; qu'il est revomi par le glacier. Cette force mystérieuse qui reportait une masse aussi considérable de bas en haut, a beaucoup occupé les physiciens; on avait même imaginé pour l'expliquer une théorie assez ingénieuse; mais, comme cela se pratique souvent parmi les faiseurs de théorie, on avait rangé les faits pour la théorie au lieu de baser la théorie sur les faits.

La voici en deux mots: Les rochers sont dans les crevasses; la vapeur qui se condense sur leurs parrois, l'eau de pluie qui tombe sur eux coulent jusqu'à la partie inférieure du bloc en contact avec la glace; là cette eau se congèle; par là même elle augmente de volume, et par ce moyen soulève le bloc d'une quantité proportionnée à la quantité d'eau congelée. A force de se répéter, ce mouvement porte enfin le rocher à la surface du glacier.

Sans nous arrêter à des réfutations inutiles, commençons par donner les faits qui ont pu induire en erreur. Les cailloux sont plus nombreux à la surface, parce que ceux de l'intérieur n'étant pas visibles, on ne peut faire de comparaison; parce que tous ceux qui tombent sur le glacier pendant tout son trajet, y restent; et enfin, parce qu'une partie de ceux qui sont d'abord couverts de glace, finissent par se trouver entièrement au dehors; et c'est cette dernière

circonstance qui a pu induire en erreur; c'est celle qu'il importe d'expliquer.

Si l'on examine un rocher encore enseveli dans la glace et qui ne se montre à la surface que par un point, on observe que ce point visible devient de plus en plus grand. Au bout d'une année, le progrès est sensible, et enfin il arrive une époque où tout le rocher est visible; on en conclut que la glace l'a repoussé; il eût été tout aussi facile de dire que la glace ayant diminué au-dessus et ensuite autour de lui, le rocher s'est trouvé à la surface, parce que cette surface dont la nature est changeante, a dû s'abaisser à mesure que la fusion s'est opérée.

En effet, dès que les glaces ont dépassé cette ligne qui sépare la région végétale de la région glacée, elles commencent à fondre, et la quantité de cette fusion s'accroît à raison de leur abaissement; de sorte que la quantité de glace fournie par le courant est d'autant moindre qu'on la mesure plus bas, jusqu'à ce que l'on arrive au point de la destruction totale. Il doit s'en suivre nécessairement qu'un rocher qui, vers le haut du glacier, était caché au-dessous d'une certaine épaisseur de glace, doit se trouver entièrement visible quand il a fait avec la masse qui l'entraîne un certain trajet. Si cette explication avait besoin d'être démontrée, on pourrait le faire par les faits que je vais indiquer. Au milieu des *traînées rocheuses*, il y a

des blocs qui ne sont pas à la surface, mais élevés au-dessus d'elle sur des piédestaux de glace. M. de Saussure avait observé ce fait ; voici comment il en parle : « La glace sous ces arêtes (il appelle ainsi les « *traînées rocheuses*) est beaucoup plus élevée que « dans leurs intervalles, parce que ces débris accu- « mulés sur elle, la préservent de l'action du soleil « et l'empêchent de se réduire en eau ou en vapeur. « On voit même en bien des endroits de grands « fragments de rocher soutenus à 4 ou 5 pieds au- « dessus du niveau du glacier, par des piédestaux de « neige ou de glace qu'ils ont empêché de fondre. »

Je trouve le même phénomène sur le glacier du Talêfre. « Nous fîmes halte à l'ombre d'un bloc « énorme de granite qui était soutenu à plusieurs « pieds d'élévation au-dessus du glacier par un « piédestal de glace vive, dont il avait empêché la « fusion (1). »

A moins que l'on ne voulût dire que les glaciers ont une telle horreur pour les rochers qu'ils les élèvent même de plusieurs pieds au-dessus de leur surface, il faudra bien consentir à dire que c'est le niveau du glacier qui s'est abaissé par la fusion, qui paraît assez considérable même à la hauteur du Talêfre, puisque

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 2, page 23 et 27.

le fragment de granite est resté élevé de plusieurs pieds au-dessus de la surface du glacier.

3° Pourquoi vers le milieu plutôt que vers les bords? M. de Saussure a voulu rendre raison de ce phénomène; mais ce qu'il dit est loin de pouvoir satisfaire un esprit décidé d'avance à ne pas se contenter d'une apparence de lumière. J'ai cherché une autre solution du problême; j'avais cru l'avoir trouvée dans le passage des glaciers par des gorges resserrées où les glaces réunies portaient vers un point peu étendu les fragments qu'ils entraînent, et qui après le passage demeuraient dans cette position respective; mais en soumettant cette cause à une sévère critique, j'ai vu qu'elle ne pouvait en supporter l'épreuve, et j'ai laissé à d'autres le soin d'éclaircir ce mystère.

Cependant je veux ajouter une cause qui n'est pas dépourvue de toute probabilité. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, la surface des glaciers est en général convexe, et la courbe qui les termine augmente considérablement en arrivant vers les bords. N'est-il pas probable que les blocs de rochers qui sont le plus rapprochés des rives ont glissé peu à peu en suivant la pente latérale, et sont venus accroître ou former ces *moraines* qui bordent presque constamment les glaciers? Ceci est d'autant plus vraisemblable, que les *traînées rocheuses* restent vers

le milieu des glaciers sur une partie plus élevée et en général plus unie que le reste de la surface.

4° Pourquoi plusieurs *traînées* distinctes et séparées? La réponse est facile. Quand deux fleuves se réunissent, leurs eaux ne se mêlent pas dès le premier moment; elles avancent de front dans le même lit, et si leur couleur est différente, on les reconnaît encore à plus de demi-lieue du confluent. A plus forte raison en est-il de même des fleuves de glace: ils arrivent dans le même lit chacun portant sa *traînée rocheuse*, et comme leurs flots solides ne peuvent se confondre, les traînées se suivent parallèlement jusqu'au bout du glacier. Il y a sur le glacier des Bois trois *taînées rocheuses*, parce qu'en effet il est formé de trois glaciers venus se réunir dans la même vallée.

5° Pourquoi sous ces traînées la surface du glacier est-elle plus élevée? M. de Saussure en donne une raison vraie, c'est que la glace préservée du soleil par la présence de la terre et des rochers, ne fond pas sur ce point autant qu'ailleurs. A celle-là j'en ajouterai une seconde, que je développerai plus tard, et dont on comprendra mieux la puissance: c'est que ces rochers garantissent la glace de la pluie qui la fait fondre bien plus rapidement que ne le ferait le soleil.

CHAPITRE X.

DE LA FORME DES GLACIERS D'ÉCOULEMENT.

Je l'ai déjà dit, les glaciers d'écoulement sont des fleuves d'eau solide; tous les phénomènes des fleuves s'y retracent avec une fidélité qui suffirait pour faire soupçonner leur usage : ils s'élargissent ou se rétrécissent selon la nature des bords. La vitesse des flots se mesure sur la rapidité de la pente ; les cavités et les inégalités qui se trouvent bien probablement dans le fond du lit, ne se reproduisent point à la surface, qui conserve une marche uniforme. Les ondées de glace marquées par des crevasses transversales semblent se suivre ; mais elles paraissent avoir plus de rapidité vers le milieu, ce qui donne à chaque ondée la forme d'un demi-cercle dont la convexité est tournée vers le bas de la vallée. Le fleuve suit une ligne droite ou serpente selon la direction de ses rives. Il y a dans la forme des glaciers quatre choses principales qui méritent de nous arrêter un instant, ce sont 1° leur renflement vers le milieu, 2° les crevasses qui les couvrent, 3° les puits, 4° les eaux d'écoulement.

Du renflement des glaciers d'écoulement.

Il faut se rappeler que mes observations se rapportent toujours au glacier des Bois, qui est pour ainsi dire un glacier classique par son étendue, par sa masse, par sa position et par l'ensemble des phénomènes qu'il présente. Quand on veut le traverser, on commence par monter dès le bord jusqu'au milieu ou à peu près, et de là on redescend jusqu'à l'autre rive, de sorte que la surface du glacier est en dos-d'âne, et les eaux qui proviennent de la fonte des glaces se distribuent et coulent du milieu vers les deux rives et non pas dans le sens de la direction du fleuve. J'ai cru trouver la raison de cette forme dans la fusion bien plus grande sur les bords qu'elle ne l'est vers le milieu. Je pourrais indiquer comme première cause la réverbération du soleil produite par les rochers du rivage; mais si cette cause est pour quelque chose dans la production du phénomène qui nous occupe, je la crois trop peu sensible pour la placer seule vis-à-vis des effets produits. Cet accroissement de fusion est dû selon moi à l'écoulement des eaux.

Plusieurs circonstances m'avaient prouvé que la glace soumise, dans l'air, à une température élevée, résistait bien plus long-temps à la fusion que quand

elle était exposée à l'humidité ou mise dans de l'eau même très-froide. J'ai fait, pour obtenir un peu plus de précision, quelques expériences qui m'ont pleinement confirmé dans cette opinion. Au mois d'août, j'ai pris deux cubes de glace, chacun du poids d'une livre. J'ai mis le premier dans un volume d'eau du poids de neuf livres, et à la température de + 11° Réaumur et à l'ombre. J'ai exposé le second dans un panier d'osier, à un soleil de + 23° Réaumur. Le premier a été entièrement fondu après une heure et 15 minutes, en abaissant la température de l'eau dans laquelle il était à + 5°. Le second a passé six heures au soleil, et ensuite dans une température de + 14 à 15 degrés, et n'a été fondu qu'après 14 heures.

Voici comment j'ai raisonné pour découvrir le rapport qui existe entre le pouvoir de l'eau pour opérer la fusion de la glace, et le pouvoir de l'air pour obtenir le même résultat.

1° Le premier morceau de glace qui a fondu en une heure et 15 minutes en ramenant l'eau de + 11° à + 5°, peut être supposé, sans erreur trop considérable, avoir fondu dans une température moyenne de + 8°.

Pour comparer maintenant le cube de glace exposé au soleil et à l'air, à celui qui a été soumis à l'eau, j'ai réduit à + 8°, les deux températures auxquel-

les il a été exposé. Ainsi admettons dans une première approximation que la glace exposée au soleil dans un air à + 23° n'ait pas fondu plus vite que si elle avait été à l'ombre dans un air aussi élevé à la température de + 23°; six heures passées dans un air à + 23° équivalent à 17 heures 15 minutes passées dans un air à + 8°; car il est évident que les temps nécessaires pour fondre une même quantité de glace sont en raison inverse des températures de l'air dans lequel cette glace se trouve : on aura donc : (+ 8° : + 14° :: 6 h. : x = 17 heures 15 minutes). Par la même raison, les huit heures passées dans un air à + 14°, équivalent à 14 heures passées dans un air à + 8°; car nous aurons comme tout à l'heure : (+ 8° : + 14° :: 8 h. : x = 14 heures).

La fusion dans l'air à + 8° aurait donc eu lieu dans 17 heures 15 minutes + 14 heures = 31 heures 15 minutes, temps qui égale 25 fois 1 h. 15 m., c'est-à-dire le temps nécessaire pour la fusion d'une quantité de glace dans de l'eau à + 8°.

Ce rapport de 25 à 1 est de beaucoup inférieur à la vérité; car, 1° la température moyenne de l'eau a dû être au-dessous de 8°, parce que l'eau a dû se refroidir au commencement dans un rapport beaucoup plus rapide qu'à la fin. (Il serait encore plus grand dans une eau agitée ou courante); 2° la glace au soleil fondait non-seulement pas le contact de

l'air, mais aussi par l'action directe des rayons solaires. Or, ces deux causes ont concouru pour diminuer le rapport que nous cherchons.

Si par une approximation on suppose que la glace, pendant les 6 heures passées au soleil, a fondu autant par l'action directe des rayons solaires que par le contact de l'air, les 6 heures passées au soleil n'équivalent plus à 17 h. 15 m., mais au double, à 34 h. 30 m. passées dans un air à + 8°; on aurait donc 34 h. 30 m. + 14 h. = 48 h. 30 m. pour le temps nécessaire à un cube d'une livre de glace placé dans un air à + 8°, pour arriver à la fusion complète, tandis que dans l'eau il n'a fallu pour cela que 1 h. 15 m.; le rapport de ces deux nombres serait de 38, 8 à 1, au lieu de 25 que nous avons trouvé tout à l'heure.

Sans vouloir donner à cette expérience une précision aussi grande qu'elle pourrait l'avoir, il en résulte du moins que la glace fond beaucoup plus vite sous l'action de l'eau que sous celle de l'air; c'est d'ailleurs ce qu'on aurait pu conclure directement de l'énorme différence de leur capacité pour le calorique; car, à masse égale, celle de l'eau étant 1, celle de l'air n'est que de 0,2669.

La connaissance de cette propriété de l'eau est très-importante, et l'on verra qu'elle rend compte de la plupart des phénomènes que présentent les glaciers.

Elle est même susceptible d'applications utiles. Après la terrible débâcle qui ravagea la vallée de Bagnes en Valais le 16 juin 1818, le gouvernement fit rechercher les moyens les plus propres à prévenir le retour d'un tel fléau. Il fallait détruire des amas de de glace qui arrêtaient l'écoulement des eaux. L'ingénieur qui présidait à cette entreprise, n'a pas employé d'autre moyen que celui de diriger les eaux supérieures sur la surface du glacier, afin d'en diminuer la masse par la fusion. Quelles que puissent être les oppositions que M. Venetz a rencontrées, je crois que le moyen qu'il a choisi est parfaitement rationnel, puisqu'il est justifié par l'expérience que je viens d'indiquer. Je n'ai pu savoir si ses tentatives ont obtenu le succès qu'il en attendait.

Reportons maintenant notre expérience sur les glaciers. L'eau de la pluie, l'eau qui se forme par la condensation des vapeurs, l'eau qui provient de la fusion des glaces, arrivent sur les deux bords du glacier; mais comme elles partent du milieu, leur quantité sera plus grande à mesure qu'elles s'approcheront de la rive, et leur effet pour la fusion sera plus considérable; les glaces devront donc s'abaisser vers les bords, et la surface du glacier sera un dos-d'âne.

CHAPITRE XI.

DES CREVASSES.

Tous ceux qui ont décrit la mer de glace ont employé le même terme de comparaison pour en donner une juste idée à ceux qui ne l'ont pas vue : « La « surface du glacier, dit M. de Saussure, vue du « Mont-Envers, ressemble à celle d'une mer qui au- « rait été subitement gelée, non pas dans le moment « de la tempête, mais à l'instant où le vent s'est « calmé, où les vagues, quoique très-hautes, sont « émoussées et arrondies (1). »

Ces aspérités si nombreuses, si variées par la forme, l'élévation et l'arrangement, offrent un des spectacles les plus intéressants que puisse fournir la nature. Des arêtes de glace souvent assez longues se prolongent au travers du fleuve de glace ; leur sommet quelquefois assez tranchant, n'est pas toujours uniforme, mais surmonté d'aiguilles comme les arêtes granitiques des hautes montagnes. Entre ces arêtes se trouvent de petites vallées traversales au courant. Leur profondeur varie comme l'élévation des collines glacées qui les bornent. Ce sont ces petites vallées

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome 2, pag. 6.

que l'on est convenu d'appeler crevasses ; mais on se sert de ce même mot pour désigner toutes les cavités qui se rencontrent dans les glaciers, quelle que soit leur cause et leur position. C'est jeter de la confusion dans les idées qui ont rapport à cette partie de la nature. Cherchons à distinguer les choses.

Des masses de neige et quelquefois de glace, se détachent de la montagne et coulent rapidement le long de ses flancs, en laissant un vide, ou si l'on veut un fossé plus ou moins large et profond. On donne à cette cavité le nom de crevasse ; il vaudrait mieux, ce me semble, l'appeler *couloir*.

Dans les endroits où la pente est rapide, la glace, cédant à sa propre pesanteur, se détache de la masse supérieure et s'avance vers le bas d'une quantité plus ou moins grande, selon l'espace qu'elle trouve. Le vide qu'elle laisse derrière elle est une véritable fente qui s'est faite avec un grand bruit. Cette fente ne tardera pas à être fermée par l'approche de la glace supérieure, qui descendra à son tour après qu'une autre fente se sera faite plus haut. On donne encore le nom de crevasse à cette ouverture ; il vaudrait mieux lui laisser le nom de fente. J'ai observé plusieurs de ces fentes qui avaient été faites depuis peu de temps, depuis quelques heures peut-être ; elles n'avaient guère que deux pouces d'ouverture, mais en profondeur elles paraissaient s'étendre jusqu'au fond du

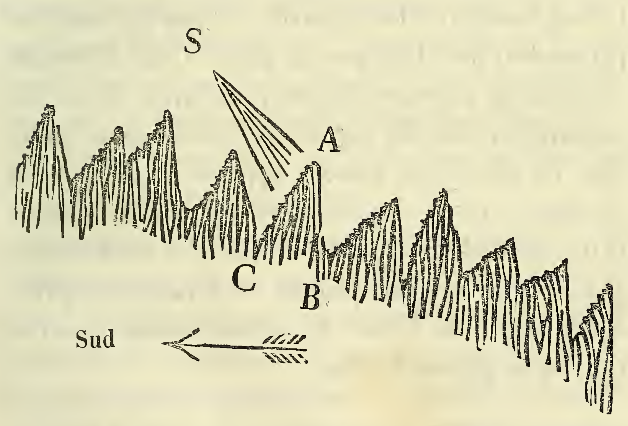
glacier, et en le coupant le perpendiculairement à ses bords; elles se propageaient à travers beaucoup de crevasses qu'elles coupaient obliquement. L'eau qui coule des crevasses dans les fentes ne reparaît pas; ce qui prouve que les fentes vont au fond des glaciers, tandis que les crevasses ne sont qu'à la superficie. Enfin, il y a sur toute la surface des *glaciers d'écoulement*, des enfoncements qui, pour l'ordinaire, n'affectent qu'une certaine épaisseur de la couche supérieure du glacier sans s'étendre jusqu'au fond; c'est à ces petites vallées que je conserve le nom de crevasse qu'on leur a toujours donné. C'est ce que l'on appellerait en géologie les vallées d'érosion; l'action du soleil, la vapeur et l'écoulement des eaux se sont prêté un mutuel secours pour les produire.

Entrons dans les détails : la glace n'est pas partout également fusible ; les parties les plus poreuses, celles qui contiennent de petits nids de substance terreuse se fondent plus rapidement. L'eau de fusion en se dirigeant vers la rive, si elle rencontre une pente, se creuse bientôt un petit canal, et s'il n'y a point de pente, reste sur elle-même et forme un puits, une espèce de petit lac qui devient souvent très-profond, et peut percer le glacier de part en part pour se vider au-dessous. Mais avant de parler des puits, revenons au petit canal ouvert qui donne l'écoulement aux eaux de fusion. Il reçoit bientôt les eaux de ses deux

rives, et, comme nous avons vu que l'eau a un grand pouvoir pour fondre la glace, le canal se creuse de plus en plus et devient un véritable fossé, puis une petite vallée, et s'il y en a un dans son voisinage qui lui soit parallèle, la glace qui les sépare devient une arête, une véritable colline sur laquelle les parties les plus dures et les moins fusibles forment des aiguilles, des pyramides, etc. Les parois des crevasses lavées et polies par l'eau de fusion sont devenues luisantes et d'un vert d'aigue-marine extrêmement agréable. Ce n'est pas tout: les crevasses ont sur le glacier des Bois une forme qu'aucun naturaliste n'a observée. Si l'on entre sur le glacier, et que l'on s'arrête après un quart de la traversée, en se retournant vers sa source, on voit comme un bataillon de pointes, de remparts escarpés, d'aiguilles, souvent élevées de plus de vingt pieds, s'offrir aux regards; et si l'on se tourne vers le bas du glacier, la surface semble presque unie. J'ai cherché la raison d'une différence aussi extraordinaire, et je l'ai à l'instant trouvée dans la forme des arêtes de glace qui séparent les crevasses. Elles ont toutes un côté escarpé et un côté à pente douce, de sorte que si l'on en voyait un certain nombre en profil, elles auraient à peu près l'aspect de la figure ci-contre. En regardant vers le haut, ont voit la partie escarpée de toutes les arêtes qui se dessinent les unes sur les autres, et en se retournant vers le bas, on

voit les pentes douces qui se confondent en une seule pente presque uniforme. Ce contraste est si grand, que je suis étonné qu'il n'ait pas frappé les observateurs.

Cette disposition des arêtes de glace est une conséquence de la direction du glacier par rapport au soleil : il va à peu près du sud au nord. Cette direction étant donnée, voyons quel doit être l'effet produit sur une tranche de glace.



Soit l'arête A B C, vue de profil; les rayons solaires suivant la ligne S A frapperont toute la partie A C de l'arête, et les eaux en coulant au fond de la crevasse augmentant la fusion, l'ajouteront à elle-même, de manière que la fusion ira croissant du point A jusqu'au point C, tandis que la partie A B, pré-

servée du soleil, ne fondra point du tout. On pourrait m'accuser de prendre des effets déjà produits pour base de ma démonstration; mais il est facile de voir que ce raisonnement peut s'appliquer au premier moment de la fusion comme au dernier; si l'on veut prendre la crevasse pendant qu'elle n'a qu'une ligne de profondeur, c'est alors que l'effet indiqué sera le plus sensible.

Les aspérités du glacier des Bossons ne ressemblent pas à celles de la mer de glace. Au lieu d'arêtes taillées en biseau vers les sommets, ce sont de véritables pyramides, des obélisques de glace. Cette différence de forme est une nouvelle preuve en faveur de ma démonstration, car elle est due à la différence de position. Le glacier des Bossons appuyé au nord de la montagne, ne reçoit presque pas les rayons du soleil; la fusion étant à peu près uniforme, les eaux coulent de tous côtés en égale quantité, et forment des pyramides au lieu de former des arêtes, comme nous l'avons vu au glacier des Bois.

CHAPITRE XII.

DES PUITS DANS LES GLACIERS D'ÉCOULEMENT.

On rencontre quelquefois des cavités d'une grande profondeur verticale, et ces cavités remplies d'eau

jusqu'à la surface, prennent le nom de puits. Ce nom semblerait faire croire qu'elles sont toujours arrondies; mais il n'en est point ainsi. Ces cavités affectent toutes sortes de formes : quelquefois c'est un petit trou qui devient tout-à-coup plus large, et ensuite se rétrécit ; souvent c'est une crevasse allongée, quelquefois un petit étang aux bords sinueux, et enfin un véritable puits. On comprend que son prolongement dans la masse glacée doit avoir des étranglements et des renflements selon que les couches de glace qu'il rencontre sont plus poreuses ou plus compactes. La profondeur de ces cavités est souvent très-grande et peut quelquefois atteindre le fond du glacier, alors l'eau descend et suit le fond de la vallée sous les voûtes de glace qui reçoivent toute l'eau de fusion.

Comment la glace a-t-elle pu se fondre à une profondeur où l'on ne peut alléguer ni l'action du soleil, ni celle des pluies, ni la chaleur interne, puisque le fond du glacier n'est pas toujours atteint? Un naturaliste Suisse prétend que ce mystère est inexplicable; les autres n'en parlent pas. Avec la connaissance que nous avons des changements de densité que l'eau éprouve en changeant de température, et cette autre connaissance du pouvoir qu'elle possède pour accélérer la fusion, le phénomène que je viens d'indiquer est facile à concevoir. Supposons en effet

qu'il y ait fusion sur une partie du glacier qui n'a aucune pente, et où, par conséquent, l'eau reste sans écoulement : elle se rassemble sur le point le plus bas, et c'est ici que nous allons voir son action pour creuser le fond du réservoir dans lequel elle se réunit.

Les expériences des physiciens ont prouvé que l'eau atteint son maximum de densité à la température de + 4° du thermomètre centigrade, et qu'en partant de ce point, son volume augmente, soit dans l'élévation, soit dans l'abaissement du thermomètre; mais cette augmentation est beaucoup plus rapide en descendant vers zéro qu'en montant vers l'eau bouillante, puisqu'en parcourant 96° pour arriver vers ce dernier terme, elle ne s'accroît que de $\frac{1}{26}$, tandis qu'en descendant de trois degrés seulement pour arriver à zéro, elle s'accroît de $\frac{1}{14}$. Appliquons maintenant la connaissance de ce fait à l'eau des puits des glaciers d'écoulement. La portion du liquide qui se trouve à la surface réchauffée par le soleil, l'air, la pluie ou la vapeur, peut bien s'élever à trois, quatre, cinq et six degrés au-dessus de zéro : alors elle est autour de son maximum de densité. Au contraire, la portion du liquide qui est en contact avec la glace du fond, arrive à une température très-proche de zéro, et par conséquent elle reçoit la plus grande augmentation de volume dont elle est susceptible; mais par cette loi

de l'hydrostatique qui veut que les liquides se placent dans des élévations inverses à leur pesanteur, l'eau du fond devra monter et celle de la surface descendre. Par ce revirement de la colonne d'eau, celle qui contenait du calorique est parvenue au fond du réservoir, et celle qui était froide est venue à la surface, où elle se trouve en contact avec les agents atmosphériques. Que doit-il se passer dans cette nouvelle position? Le voici : le calorique en plus qui arrive en contact avec la glace est absorbé pour une fusion nouvelle, et l'eau du fond redescend à zéro, pendant que celle de la surface en acquiert et remonte à trois, quatre, cinq ou six degrés. Dès lors un nouveau changement de position est encore nécessaire et le redevient à chaque moment, de telle sorte qu'il y a dans cette cavité un mouvement de circulation perpétuelle du fond à la surface et de la surface au fond : on dirait un agent mécanique employé par une intelligence pour aller creuser le fond d'un réservoir.

Quand la saison de fusion est longue ou que le puits se trouve dans une partie du glacier peu profonde ou très-poreuse, le fond du puits atteint le fond du glacier, et dans ce cas les eaux de fusion qui viennent de la partie supérieure tombent en cascade jusqu'au sol sur lequel repose le glacier, et coulent ainsi sous des voûtes de glace jusqu'à l'extrémité

Il n'est pas rare que quand ces puits sont sans fond et sans eau par conséquent, on entende tomber dedans des eaux qui semblent sortir des parois de de glace vive qui entourent le puits. Ceci s'explique facilement. La masse du glacier est, comme nous l'avons vu, formée de diverses couches superposées, et les joints qui les séparent sont souvent de glace bulleuse, ou de neige moins compacte. Dès lors quand les eaux qui coulent au fond d'une crevasse viennent à rencontrer ces parties moins résistantes, elles les fondent, et en se propageant latéralement, elles rencontrent le puits et s'y précipitent en cascade bruyante.

CHAPITRE XIII.

DES MORAINES.

M. Venetz donne sur la formation des moraines une explication qui me paraît peu conforme à l'observation; la voici : « Dans leur accroissement, les gla-
« ciers ont la propriété de *pousser devant eux* les
« terres, les pierres et tous les corps étrangers; par
« cette raison, ces matériaux entourent presque tou-
« jours le pied de ces énormes masses de glace en
« formant un talus d'environ quarante-cinq degrés,
« etc....» On dirait, d'après ces idées, que les mo-

raines une fois poussées sur un point par les glaciers, ne sont plus susceptibles d'accroissement; il y a erreur: ce n'est point en *poussant* que les glaciers forment les moraines; c'est en charriant, en portant les matériaux. Tout ceci se comprendra mieux par la seule exposition des phénomènes.

Au fond et sur les bords des glaciers d'écoulement on trouve des amas de rochers, de cailloux anguleux, de sable et de terre qui ont été déposés là par le glacier. C'est toujours un fleuve qui dépose sur ses rives une partie des substances qu'il charrie, et qui emporte les autres jusqu'à son embouchure. On donne le nom de moraines aux dépôts fait par les glaciers. Quelques-unes de ces moraines présentent l'aspect d'immenses chaussées fondées au bord d'un fleuve pour le fixer dans son lit.

J'ai dit en parlant de la forme des glaciers d'écoulement, qu'ils étaient plus élevés vers le milieu. A mesure qu'ils fondent, les eaux qui se portent sur les rives entraînent avec elles la terre et le sable qui se trouvent dans les glaces; les rochers qui se trouvent sur les versants doivent eux-mêmes couler peu à peu vers le rivage; de sorte que chaque jour apporte un accroissement à ces remparts élevés qui devancent les glaciers. Pourtant ce n'est pas sur les rives que se trouve la plus grande quantité de matière, c'est au bout du glacier, là où sa résistance est vaincue par la

chaleur et où restent à découvert les matériaux qu'il portait dans son intérieur, aussi bien que ceux qu'il charrie à sa surface. Là on voit ces amas de matières entassées en collines, et indiquant par leur position les divers points vers lesquels le glacier s'est arrêté. Dans un discours prononcé dans la *Société Helvétique des Sciences naturelles,* le président, M. Agassis, a dit que les blocs de rochers qui forment les moraines sont arrondis ; c'est une erreur ; tous les blocs des moraines actuellement en action sont des blocs anguleux, souvent même à arêtes vives, avec des faces planes plus ou moins étendues. Les blocs arrondis sont ceux qui ont été roulés par les eaux. Ces derniers, toujours plus ou moins polis, sont faciles à reconnaître. Les blocs des moraines ont souvent les angles brisés, mais rarement arrondis, ce qui est bien différent. Quant aux surfaces planes et quelquefois polies de ces masses que portent les glaciers, elles indiquent le point de délitement. Les roches talqueuses micassées, les protogines, et quelquefois aussi les strates calcaires, en se délitant offrent des surfaces assez polies.

M. Godefroi a admis, dans l'ouvrage qu'il vient de publier, le même système que M. Venetz. D'après cet auteur, les petites vallées transversales qui descendent par le flanc des hautes montagnes, sont remplies des débris de ces mêmes montagnes. En

partant des glaciers-réservoirs pour descendre dans la zone de fusion, les glaces ont poussé devant elles et en partie rejeté sur leurs flancs les débris pierreux et terreux qu'ils ont trouvés sur leur passage, à peu près comme le soc de la charrue qui soulève la terre, la porte en avant et la redresse des deux côtés du sillon. Telle est la théorie de M. Godefroi, qui, selon moi, ne diffère de celle de M. Venetz que par les détails. Ce système est entièrement contraire à l'observation. Je ne veux pas relever ce qu'il y a d'invraisemblable dans ces glaces qui s'insinuent à la manière d'un soc dans les débris des roches pour les soulever sur les côtés; je me contenterai de faire observer au lecteur qu'aussitôt après la formation de la montagne, le glacier-réservoir s'est lui-même formé et a fourni des glaces aux glaciers d'écoulement avant que les vallées transversales ou que les couloirs eussent été remplis par les débris des montagnes. C'est ici une question préjudicielle qui tranche la difficulté; ce n'est pas là qu'il faut chercher la solution de ce problême, qui est d'ailleurs d'une grande simplicité. Tous les éléments dont l'intelligence avait besoin pour y arriver sont là; il ne faut que les observer. Je le répète, la surface du glacier est chargée de débris venus avec les glaces des sommités de la montagne. Le glacier est en général d'une forme convexe; il est donc tout simple qu'à mesure qu'il des-

cend, partie des blocs de rochers s'avancent lentement vers les bords et finissent par y tomber. On en voit un certain nombre qui sont près de terminer cette évolution.

Quant aux sables, aux parties terreuses qui entrent dans l'ensemble des moraines, il est tout aussi évident qu'elles n'ont pas une autre origine ; en se baissant sur l'un de ces petits ruisseaux qui coulent au fond des crevasses, on voit passer dans cette eau si limpide qui coule sur un fond d'émeraude, de petit grains noirs qui sont les sables venus avec les glaces, et qui vont s'ajouter aux moraines ; il est vrai que ce n'est qu'un grain de sable ajouté à une petite montagne ; mais le grain qui vient toujours finit par faire une masse.

J'ajouterai une dernière observation qui est tout aussi concluante contre le système de M. Godefroi. Un grand nombre de glaciers ont plusieurs lignes de moraines latérales ; je citerai pour exemple le glacier de Rosboden près du Simplon ; et pour m'arrêter à un glacier plus connu, je reviendrai au glacier des Bois. Sur le bord de la mer de glace, au-dessous du pavillon du Mont-Envers, j'ai reconnu trois étages de moraines, en y comprenant celle qui est actuellement en état de formation. La plus ancienne est plus de soixante pieds plus élevée que cette dernière. Dira-t-on que le glacier a recommencé trois fois son

sillon ? Ce serait absurde. Nous savons que ce glacier a beaucoup diminué, et de même qu'il a laissé d'anciennes moraines au fond de la vallée, il en a aussi laissé sur ses côtés qui correspondent à son ancienne élévation.

CHAPITRE XIV.

DES BLOCS ERRATIQUES.

Les rochers de toutes les grandeurs et de toutes les formes qui sont rassemblés à l'extrémité des glaciers, n'ont pour l'ordinaire aucune analogie avec ceux que fournit cette portion de la vallée. Pour retrouver leurs analogues, il faut remonter vers les sources du glacier. On a donc donné à ces rochers voyageurs le nom d'erratiques. On en trouve de semblables et portant le même nom, répandus dans toutes les vallées des Alpes, sur le flanc des montagnes et dans les plaines. Les naturalistes se sont beaucoup occupés de chercher les causes qui avaient pu transporter ces masses aussi loin du lieu de leur origine, et quand la réflexion leur est venue que les glaciers actuellement en action portaient des rochers du haut des Alpes jusque dans le bas des vallées, ils ont multiplié cette cause et l'ont agrandie jusqu'à ce qu'elle pût s'éten-

dre à tous les effets produits ; mais il fallait des glaciers gigantesques pour conduire des rochers le long de la vallée du Rhône, depuis le Saint-Gothard jusqu'à l'extrémité du Jura, et depuis le sommet de cette dernière montagne jusqu'au sommet des collines inférieures. On ne s'est pas laissé arrêter par cette difficulté, on a donné aux glaciers la taille nécessaire pour produire les effets dont on voulait donner l'origine. C'est à M. Venetz, ingénieur du canton du Valais, que l'on doit le système ingénieux dont je vais donner l'analyse.

Après je ne sais combien de cataclysmes et de révolutions qui étaient tout à fait nécessaires pour rendre intelligibles à notre esprit les faits géologiques observés dans ces contrées, on voit surgir tout à coup à la surface du globe deux vastes masses granitiques, l'une dans le Valais, et l'autre dans la Savoie. Celle de la Savoie comprend tout le massif énorme de roches dont la sommité la plus élevée est le Mont-Blanc. Ce granite, ce porphyre, cette serpentine et toutes ces roches cristallines, qui ont bien certainement une origine plutonienne, et qui, par conséquent, se sont formées dans le sein du foyer central, se sont fait jour à travers les gneiss, les micachistes et les autres roches talqueuses et schisteuses qui étaient immédiament au-dessous du dépôt jurassique. Cet immense effort de la nature interne agissant sur toute cette

partie du globe, lui fit une vaste boursoufflure qui éleva les montagnes déjà existantes, les vallées et les Alpes, bien au-dessus de la hauteur qu'elles ont maintenant. D'après les calculs, le sommet du Mont-Blanc devait être élevé de 18,834 pieds au-dessus du niveau de la mer, c'est-à-dire plus élevé que toutes les montagnes connues, et les vallées inférieures dans cette même proportion.

Alors la température a dû s'abaisser, l'atmosphère se refroidir, la chaleur centrale diminuer ; les Alpes nouvelles ont dû se couvrir de neige et donner lieu à d'immenses glaciers, qui envahirent toutes les vallées et couvrirent la Suisse de moraines et de blocs erratiques. Cependant cette élévation exorbitante ne pouvait durer ; les masses s'affaissèrent peu à peu, et dans ce retour sur elles-mêmes, laissèrent au terrain la conformation qu'il possède maintenant, laquelle se trouve intermédiaire entre le premier état où le sol produisait les palmiers, les chamærops et d'autres plantes de la zone torride, et le second état où les glaces le couvraient presque tout entier. Voilà comment les blocs erratiques sont si loin des hautes Alpes, d'où ils sont partis. Je suis trop peu disposé à admettre les systèmes aussi péniblement élaborés, pour avoir foi à celui de M. Venetz. Tout ce qui exige une grande complication dans les moyens et dans les causes, est moins propre à découvrir la nature, tou-

jours simple dans son action, parce qu'elle est riche et puissante dans ses ressources, qu'à déceler la faiblesse de l'esprit humain, qui est borné dans ses conceptions. En admettant le tout comme le produit d'une imagination facile, je veux cependant relever l'erreur dans laquelle est tombé l'un des partisans du système de M. Venetz. M. de Charpentier a, dans un Mémoire publié dans la *Bibliothèque universelle de Genève* (juillet 1836), développé les conséquences du système des glaciers considérés comme vecteurs des blocs erratiques. Pour déterminer la hauteur du Mont-Blanc à cette époque, et de même la hauteur des vallées de la Suisse où se trouvent les blocs erratiques, et par conséquent où se sont nécessairement trouvés les glaciers, M. de Charpentier a raisonné ainsi :

Les glaciers ne sont en permanence que dans un pays où la température moyenne ne dépasse pas + 6°, comme on le voit à Chamonix. Donc la température moyenne de la vallée du Rhône était, à l'époque des glaciers, de + 6°; mais pour ramener cette température moyenne à + 6°, il faudrait élever le pays tout entier d'autant de toises que la chose serait nécessaire pour l'y réduire, et puisqu'il ne se trouve plus à cette hauteur, il en est donc redescendu. Tout ce calcul, qui paraît juste, tombe avec la première supposition, qui est fausse, ou qui du moins n'est pas

en harmonie avec la nature des glaciers d'écoulement. M. de Charpentier part de la supposition que les glaciers ne peuvent se maintenir qu'à la température moyenne de + 6°. Ceci n'est pas conforme à l'observation. La température n'est que le moindre des éléments qu'il faut considérer dans l'abaissement des glaciers. Leur prolongement dans les vallées est dû surtout à la quantité des glaces fournies par le glacier-réservoir ; tel glacier qui n'en reçoit que peu, ne descend que vers une température moyenne de + 3°, comme le glacier des Pélerins ; tel autre qui en a reçu davantage, descend vers une température de + 5° ; et si le glacier des Bois avait une double quantité de glace à fondre, nous le verrions peut-être descendre le long de la vallée de Chamonix jusque vers les Ouches, ou plus bas encore ; et s'il était le seul point d'écoulement ouvert à toutes les glaces qui se forment sur divers plateaux du Mont-Blanc, je ne serais point étonné qu'il descendît jusqu'à la région végétale de la vigne. Cette première base étant détruite, tout l'échafaudage tombe de lui-même.

Ce n'est pas tout ; le moyen inventé pour expliquer l'origine des blocs erratiques est encore insuffisant, car ce phénomène, qui a une immense étendue, doit avoir partout la même cause ; mais je doute beaucoup que la cause inventée par les naturalistes vaudois puisse s'appliquer à tous les pays où son action

serait nécessaire. Les blocs erratiques ne sont pas bornés aux vallées des Alpes ; ils se retrouvent partout où l'on rencontre le dépôt diluvien qui se manifeste sur toutes les parties du globe. On les voit quelquefois isolés, et plus souvent groupés et accumulés sur certains points. On en trouve de grandes traînées dans les plaines du Nord, depuis les côtes du Northumberland jusqu'aux environs de Moscou. Les plaines sablonneuses de la Westphalie, du Hanôvre, du Holstein, de la Seelande, du Mecklembourg, du Brandebourg ; les plaines de la Poméranie et de la Prusse en sont couvertes. L'Islande, qui est toute de substance volcanique, offre sur ses cimes les plus élevées des blocs de granite de plus de dix mètres d'épaisseur. Comment expliquer tous ces faits par des glaciers ?.....

Si pourtant on veut absolument attribuer aux glaciers le transport des blocs erratiques du système alpin, on pourrait, ce me semble, en suivant la chaîne des dégradations successives que les montagnes ont subies jusqu'à nos jours, arriver à l'époque où le plateau des Alpes, sans être plus élevé qu'il ne l'est aujourd'hui, était assez étendu pour fournir des glaces et des neiges capables de remplir toutes les vallées qui l'entourent.

En effet, l'observation journalière nous prouve que les sommités s'abaissent, que les flancs des montagnes

se rétrécissent, que leur masse, en un mot, diminue et s'use par l'action des agents atmosphériques ; et en même temps que leurs cimes s'abaissent, leur pied se recouvre de débris ; de sorte que la hauteur diminue par les deux extrémités à la fois. La matière descend des sommités tantôt en avalanches terreuses, tantôt en blocs solides qui roulent dans la vallée, tantôt en petits fragments et en parcelles sablonneuses qui troublent les eaux des torrents et vont se déposer dans les plaines et jusque sur le rivage des mers.

La forme actuelle des montagnes suffit pour démontrer qu'elles ont beaucoup perdu de leur antique grandeur. On trouve sur leurs flancs des vallées transversales, qui ont été évidemment creusées par les eaux ou formées par la chute spontanée de rochers que le temps avait détachés de la masse. Au pied des escarpements sont venus se ranger en talus des débris pierreux qui s'accroissent aux dépens des parties supérieures.

Les cimes isolées, les aiguilles qui dominent la masse des grandes montagnes, sont comme des témoins restés debout pour nous faire connaître l'ancienne élévation des montagnes ; ainsi l'aiguille du Dru et l'aiguille de Charmoz, qui paraissent au-dessus du Mont-Envers, n'ont certainement pas été placées là dans l'état où elles sont actuellement ; mais plus solides et plus dures que la masse à laquelle elles ont appar-

tenu, elles ont résisté à l'action des agents atmosphériques qui ont détruit ou du moins dispersé les matériaux qui remplissaient l'espace qui sépare le sommet de ces aiguilles du sommet du Mont-Blanc. J'en pourrais dire autant de toutes les cimes granitiques des Alpes ; mais je ne veux qu'indiquer cette idée.

Pour reconstruire les Alpes telles qu'elles ont dû être un jour, il faudrait y joindre toutes les collines tertiaires qui couvrent les plaines et s'élèvent dans les vallées longitudinales des deux côtés des Alpes, tout le terrain d'alluvion qui a servi à niveler la Lombardie, le Piémont, le plateau de la Bresse et les rives du Rhône ; tout ce qui est venu écarter les rivages de la mer, soit à l'embouchure du Rhône, soit à celle du Pô ; enfin tous ces blocs erratiques qui se trouvent tantôt isolés, tantôt en lignes continues à travers les vallées et sur le flanc des montagnes.

Alors peut-être on trouverait assez d'élévation et surtout assez de surface sur le plateau des Alpes pour fournir des glaciers capables de remplir toutes les vallées qui les avoisinent, et par suite d'y transporter les débris des sommités granitiques les plus élevées.

CHAPITRE XV.

AVANCEMENT ET RETRAITE DES GLACIERS D'ÉCOULEMENT.

C'est un préjugé assez généralement reçu, qu'il y a dans la partie basse du glacier des accroissements et décroissements périodiques; c'est-à-dire que le bout du glacier aurait un certain mouvement de *va et vient*, espèce d'oscillation par laquelle il se rapprocherait et s'éloignerait alternativement du fond de la vallée. Les habitants des montagnes, peu habitués à mettre de la précision dans leurs observations, ont pris le terme de sept ans pour exprimer la longueur de la période; et pour peu que l'on sache combien le nombre *sept* a d'applications différentes dans le langage des choses mystérieuses, on comprend que ce nombre devait être choisi de préférence pour exprimer un fait qui a de la réalité, mais qui n'est connu que vaguement. En effet, tous les voyageurs qui ont voulu par eux-mêmes vérifier ce phénomène, se sont assurés que le fait des accroissements et des décroissements existe; mais qu'il n'est soumis à aucune loi de régularité. Quand on examine d'un endroit élevé l'ensemble des lieux qui avoisinent le bout du glacier, il est très-facile,

par l'aspect du dépôt, de déterminer l'étendue sur laquelle s'exécute le mouvement dont il s'agit. Pour le glacier des Bois, la différence entre le plus grand et le plus petit avancement n'est que d'environ 150 toises. Recherchons maintenant la cause de ce mouvement. De prime-abord on voit qu'elle est toute entière dans les causes qui peuvent faire varier la quantité des neiges survenues dans les glaciers-réservoirs.

En effet, s'ils reçoivent plus de pluies, de neiges ou de vapeurs, l'écoulement est proportionné, et avant d'être détruit, le glacier d'écoulement doit s'avancer un peu plus dans la zone de fusion ; si, au contraire, les premiers reçoivent moins, les derniers sont fondus avant d'arriver au même point. Or, on sait que les années varient beaucoup pour la quantité d'eau qu'elles donnent à la terre ; les glaciers doivent donc aussi varier dans leurs masses. Les paysans de la vallée de Chamonix disent que les glaciers croissent par la chaleur. Je ne serais point étonné qu'il y eût de la vérité dans cette assertion. En nous rappelant que l'eau a un pouvoir de fusion seize fois plus grand que la chaleur sèche, il s'ensuivrait qu'un été pluvieux et continuellement humide devrait diminuer la masse du glacier d'écoulement bien plus vite qu'un été de soleil et de sécheresse, pourvu cependant que les pluies fussent toujours chaudes et ne passassent pas à la neige, comme cela arrive si souvent.

CHAPITRE XVI.

DES ANCIENNES MORAINES.

Je n'ai entendu jusqu'ici parler que du mouvement qui s'exécute dans un petit nombre d'années, de ce mouvement dont les alternatives peuvent s'observer pendant la vie d'un homme ; mais il y a en outre sur le sol, ou du moins à une certaine distance des glaciers, des indices d'un mouvement qui s'est exécuté dans un temps qui est peut-être séparé de nous par une longue suite de siècles. Voici les faits : en examinant les terres qui sont placées à l'extrémité des glaciers, et même à une assez grande distance dans le prolongement des vallées dont la partie supérieure est parcourue par les glaces, on aperçoit d'anciennes moraines qui ont été bien certainement formées par le glacier, qui maintenant s'en trouve éloigné d'une distance plus ou moins considérable, mais presque toujours assez grande pour faire croire que jamais le glacier ne pourra revenir jusque-là. Dans un Mémoire que M. Venetz, ingénieur, a publié *sur les variations de la température dans les vallées de la Suisse*, il cite 34 glaciers des Alpes qui se sont retirés de leurs anciennes positions, et qui ont laissé des traces de leur

séjour à une lieue, et souvent plus, de distance de l'endroit où ils se terminent maintenant. On trouve même des moraines sur des lieux où les glaciers ont entièrement disparu. Comme ce phénomène est d'une grande importance pour l'histoire des révolutions du globe, je veux en donner une idée en mettant sous les yeux du lecteur les anciennes moraines du glacier de *Rossboden*, près du village du Simplon ; ce sont les seules que j'aie été dans le cas d'observer par moi-même. M. Venetz en a donné un dessin qui m'a paru parfaitement juste, et que je copie dans son Mémoire.

En s'élevant au-dessus du petit village d'*Anderegen*, qui est bâti sur les antiques moraines, on suit de l'œil trois enceintes de moraines qui ont été successivement abandonnées par le glacier, qui s'est éloigné de 7,000 pieds de celle qui en est maintenant le plus écartée. Comme on suppose en général que ces moraines délaissées remontent à une grande antiquité, j'ai voulu essayer de vérifier cette opinion en comparant l'espace abandonné par la retraite du glacier, au temps qu'il semble mettre à son mouvement rétrograde. D'après des informations prises sur les lieux, ce glacier, qui continue à diminuer, semble avoir abandonné 100 pieds de terrain en 10 ans. Comme la totalité de la retraite est de 7,000 pieds, à supposer que sa marche fût régulière, nous aurions 100 : 7000 : : 10 : 700 ans, qui auraient été nécessaires pour opérer le changement qui s'observe aujourd'hui.



Carte représentant les anciennes Morènes du Glacier du Simplon.
K. extrémité actuelle du Glacier. D. extrémité ancienne.
A. B. C. D. E. F. G. anciennes morènes du Glacier.
1. 2. 3. Morènes successivement abandonnées par le Glacier.

C. Tournier, lith. *Lith. de Courtois et Aubert, Chambéry.*

Dans la carte qui accompagne ce Mémoire, les anciennes moraines sont désignées par les traces A, B, C, D, E, F, G. Ces moraines qui formaient une espèce d'enceinte, ont été coupées par le torrent qui occupe le fond de la vallée. Depuis le point K auquel se termine actuellement le glacier, jusqu'au point D où il arrivait autrefois, la distance est de 7,000 pieds.

Tous les naturalistes ont observé que le glacier d'où s'échappe le Rhône dans la vallée de Conches, a occupé jadis un espace bien plus étendu que celui qu'il occupe maintenant. Le terrain qu'il a délaissé est recouvert d'une suite de moraines extrêmement intéressantes pour l'observateur. Je vais donner ici la description qu'en fait M. Venetz dans le Mémoire déjà cité :

« La moraine la plus éloignée du glacier s'adosse « contre un rocher, formant un monticule, sur le- « quel sont construits les châlets de la montagne. « Elle présente une grande largeur, sur une hauteur « d'environ vingt-deux pieds. Du bord intérieur de « cette première enceinte jusqu'au milieu d'une se- « conde, nous avons trouvé une distance de trente « pieds ; de celle-ci à une autre, presque impercep- « tible, quarante-cinq; de là à une plus grande, « quatre-vingt-dix ; de cette quatrième à une sui- « vante, qui a environ dix-huit pieds de hauteur,

« deux cent quarante-trois pieds. Tout près de celle-
« ci on en rencontre une petite, que nous avons
« comprise dans la distance de la suivante, qui a
« cinq pieds de haut, et se trouve à deux cent qua-
« rante pieds de la grande. Sur la droite de la val-
« lée, cette moraine se divise en trois ou quatre
« jusque vers le milieu. De cette moraine à une au-
« tre, de quatre pieds de hauteur, quatre-vingt-
« dix-pieds. Celle-ci forme une suite de moraines
« entassées irrégulièrement les unes contre les autres,
« sur une longueur de trois cent soixante pieds,
« s'élevant presque insensiblement à la hauteur de
« vingt pieds et plus. Cet assemblage d'une quantité
« de moraines décrit un arc et se réunit, sur la
« droite, à la dernière, sans atteindre le pied de la
« montagne. Ici le Rhône s'échappe du glacier, en
« traversant la dernière enceinte que celui-ci a for-
« mée; puis il suit la précédente jusqu'au milieu de
« la plaine, où il la coupe comme toutes les autres.
« Depuis l'endroit où le Rhône traverse cet amas de
« moraines jusqu'à la plus récente, la distance est
« de trois cents pieds. Sur la gauche du centre du
« glacier, celle-ci laisse entrevoir qu'elle en avait
« couvert une plus ancienne, puisqu'on y voit en-
« core le gazon. »

De toutes ces observations quelques naturalistes ont conclu que ces mouvements des glaciers remon-

taient à une très-haute antiquité. Peut-être cette idée vient-elle de ce que la nature et l'origine des glaciers d'écoulement n'avaient pas été assez bien examinées. Je vais réunir ici les différentes considérations auxquelles il faut avoir égard avant de porter un jugement sur l'âge des moraines qui devancent les glaciers.

1° On a vu que la plus petite modification survenue sur les pentes des glaciers-réservoirs pouvait causer des changements notables dans les glaciers d'écoulements, enlever aux uns pour augmenter les autres.

2° S'il est vrai qu'un grand nombre de glaciers se soient retirés, il est vrai aussi que plusieurs ont empiété sur des terres qui en étaient éloignées auparavant. Dans plusieurs endroits des Alpes il y avait des passages fréquentés qui sont maintenant obstrués par des neiges éternelles. Il s'est formé dans les temps récents des glaciers sur des lieux où il n'y en avait jamais eu. Le glacier de Rothelch, qui domine le nouvel hospice du Simplon, n'existait pas en 1732. Ce qui semblerait prouver que ces changements sont dus à des accidents plutôt qu'à des causes générales.

3° Les moraines ont pu se former beaucoup plus rapidement dans les premiers temps où les montagnes étaient moins durcies, et avant qu'elles eussent reçu ces talus formés de leurs propres débris et qui leur servent maintenant de contrefort.

4° Les dégradations incessantes que subissent les montagnes sont assez considérables pour que, sur certains points, leur abaissement soit observable pendant le court espace de la vie d'un homme. Les rochers qui encombrent le fond des vallées, ceux qui sont arrivés jusques dans les plaines par les avalanches terreuses, les sables, les graviers, les terres que les eaux portent bien loin de leur origine, sont une espèce de mesure de l'abaissement des montagnes. Les aiguilles de roches feuilletées que l'on retrouve si fréquemment sur ces montagnes cristallines, sont comme des témoins restés de l'ancienne élévation des chaînes. Mais n'est il pas bien naturel que l'abaissement des montagnes, l'élévation des vallées, la destruction des cimes contribuent à la diminution des glaciers?

5° L'exhaussement du sol dans le fond des vallées a pu de même apporter des changements sensibles dans l'étendue des glaciers ; car la température moyenne augmente à mesure que le sol s'uniformise, alors même qu'il reste à la même élévation absolue.

6° La destruction des forêts a dû avoir une très-grande influence sur l'étendue et même sur la direction des glaciers. Ce n'est pas ici le lieu de traiter ce sujet, qui a déjà occupé un grand nombre de naturalistes ; il suffit de rappeler qu'ils sont tous d'accord pour affirmer que la présence des forêts fait baisser la température.

7° Par la même raison, la culture doit aussi contribuer à changer la limite des neiges et l'étendue des glaciers.

8° Enfin, si la vallée qui sert de lit au glacier est obstruée par les matériaux, et que les glaces ne puissent pas s'écouler facilement, elles s'amoncèlent de manière à la remplir; et comme les causes de fusion seront impuissantes sur une trop grande masse, le glacier gagnera en surface et fera des moraines sur tous ses bords; mais si une débâcle quelconque, une avalanche vient à ouvrir la vallée, les glaces couleront, se porteront rapidement en avant, y laisseront des moraines, et peu à peu se retireront sous l'influence des causes de fusion.

Je pense qu'avec un examen attentif des localités, on trouverait une application fréquente de cette dernière considération.

M. Godefroi, après avoir énuméré les glaciers nouveaux qui se sont formés sur les Alpes, et qui ont obstrué différents passages qui étaient autrefois très-praticables, soit entre les différentes vallées de la Suisse, soit entre le Valais, la Savoie et le Piémont, cherche quelle peut être la cause de cet avancement des glaciers dans les cols les plus élevés de la chaîne alpine, tandis que ces mêmes glaciers se retirent évidemment dans la partie inférieure. J'ai de même cherché la solution de ce problême à deux parties qui

semblent si diamétralement opposées ; je la donnerai dans le chapitre suivant.

CHAPITRE XVII.

DES CHANGEMENTS SURVENUS DANS LES GLACIERS.

Par les connaissances que nous avons acquises sur les glaciers-réservoirs et les glaciers d'écoulement, il est facile à comprendre qu'il peut survenir, dans la forme des rochers supérieurs, des changements qui modifieront les quantités respectives de glace qui s'écoulent par chaque canal. La totalité des glaces qui se forment sur les diverses crètes du Mont-Blanc, se distribuent pour descendre dans la région de fusion entre tous les canaux, et dans des proportions qui sont déterminées par la nature de la pente, la capacité des couloirs, la nature lisse ou raboteuse de la surface qui porte la glace, et mille autres petites circonstances qui peuvent échapper à notre appréciation. Or, toutes ces circonstances sont de nature à changer. Ainsi un rocher qui rétrécissait la communication entre le glacier-réservoir et le glacier d'écoulement, peut être ébranlé, entraîné par les glaces, et augmenter leur écoulement ; dès lors la quantité fournie au glacier d'écoulement étant plus considérable, il

empiétera sur le terrain qui l'environnait. De même, il se peut qu'un rocher acheminé avec les glaces soit arrêté dans sa course par des obstacles de terrain, et qu'il fasse lui-même obstacle à l'écoulement ; dès lors le glacier, moins abondamment alimenté, se retirera ; mais il faudra que la glace s'ouvre une autre issue, et peut-être forme un nouveau glacier. Enfin, l'on conçoit que la quantité de glace qui se forme sur les glaciers-réservoirs étant toujours à très-peu près la même, il ne peut survenir un changement dans un glacier d'écoulement sans que ce changement ne se reproduise à l'inverse dans un ou plusieurs autres glaciers : si l'un d'eux venait à être entièrement intercepté, d'autres s'accroîtraient pour le remplacer.

En effet, l'observation fait connaître des changements considérables survenus dans l'étendue de quelques glaciers. Celui des Bois, comme l'observe M. de Saussure, s'est retiré d'environ 150 toises ; on peut en juger par un grand dépôt qui fut jadis une moraine et qui est aujourd'hui couvert de chétifs mélèses, mais que le glacier n'atteint plus dans ses plus grands accroissements.

Le glacier a proportionnellement diminué dans toute son étendue. M. Godefroi s'est mépris en disant que la mer de glace avait reçu un accroissement postérieur. C'est une erreur qui est démontrée par les deux moraines qui ont été délaissées précisément sur

les bords de la mer de glace, et à plus de soixante pieds au-dessus des glaces actuelles et de la moraine en formation.

Encore selon les observations de M. de Saussure, le glacier du Mont-Dolent, dans la vallée de Ferret, remplissait jadis le fond d'une vallée, qu'il laisse aujourd'hui à découvert. Ses glaces ont dû perdre environ deux cents pieds d'épaisseur. Au contraire, le glacier du Triolet, qui est dans la même vallée, paraît s'accroître considérablement depuis un certain nombre d'années. Ces deux glaciers partent de la même partie du réservoir; jusqu'en 1721, le premier paraît avoir été plus abondant; à cette époque la chute d'un rocher qui eut lieu le 14 de septembre, au-dessous du Triolet, facilita l'écoulement de ce dernier, qui s'accroît encore, tandis que l'autre diminue.

Dans les faits que je viens d'indiquer, la nature nous montre elle-même sa manière d'agir; il ne s'agit que d'étendre son action à tous les effets identiques. L'observation nous prouve assez que les montagnes s'usent, se dégradent; à mesure donc que les rochers qui servaient de remparts aux glaciers-réservoirs, sont emportés par la pression ou par la décomposition, les glaces qui ne sont plus retenues s'épanouissent sur les flancs des glaciers-réservoirs, et dès lors il y a extension des glaciers supérieurs, ou même formation de glaciers nouveaux; dès lors la fusion est favo-

risée par l'augmentation de la surface, et dès lors la glace fournie aux glaciers d'écoulement inférieurs n'étant plus aussi abondante, ils se retirent et s'éloignent des anciennes moraines. La cause de ce mouvement de retraite étant continue, il doit en être de même de l'effet, et les glaciers inférieurs continueront à diminuer.

En considérant l'accroissement des glaciers supérieurs, M. Godefroi se croit autorisé à conclure que la limite des neiges perpétuelles s'est élevée, sans cependant qu'il y ait eu de changement dans la température moyenne du climat. Il y a sans doute méprise de la part de M. Godefroi. Ce n'est pas d'après les glaciers que l'on peut juger la position de la limite des neiges éternelles ; cette ligne passe précisément où la température est suffisante pour fondre chaque année la neige de l'année ; mais dès l'instant où il s'agit d'un lieu où non-seulement on trouve la neige de l'année, mais encore la glace venue des régions supérieures, on sent qu'il ne faut plus chercher dans ce lieu la limite des neiges perpétuelles. Il peut donc se former des glaciers d'écoulement sans qu'ils aient aucun rapport avec la ligne des neiges perpétuelles, et sans qu'il se soit opéré aucun changement dans la température commune.

Il est reconnu qu'après l'année 1811, qui avait été sèche et chaude, les glaciers avaient considérable-

ment diminué ; mais après les années pluvieuses de 1815, 1816, 1817, les glaciers-réservoirs ayant reçu une masse d'eau considérable, la ligne des neiges perpétuelles s'est abaissée, et les glaciers d'écoulement ont suivi la même marche. A cette époque, le glacier de Distel, dans la vallée de Saas, en Suisse, descendit de près de 50 pieds dans une seule année.

On pourrait multiplier les exemples, mais la thèse me semble assez démontrée par elle-même.

CHAPITRE XVIII.

ESSAIS DE CALCUL SUR L'AGE DU GLACIER DES BOIS.

Depuis M. de Luc, tous les géologistes ont cherché à lire l'âge du monde dans les rapports que doivent avoir entre elles les différentes révolutions qui se sont succédé sur la surface du globe. L'abaissement des cimes, l'élévation progressive des vallées, les atterrissements produits par les fleuves à leur entrée dans les lacs ou dans la mer, les éboulis tombés des montagnes et s'élevant en talus le long de leurs flancs, ont fourni des arguments à l'auteur de la *Palingénésie*, pour lui démontrer la jeunesse du monde. Il me semble que les conséquences que l'on a essayé de tirer de ces divers faits sont en général exagérées. Elles de-

vraient être restreintes à une époque du monde, au lieu d'être toujours appliquées à son origine. Ainsi, par l'abaissement progressif des montagnes, on peut tout au plus calculer l'âge des montagnes, mais non pas celui du globe, qui a pu exister long-temps sans montagnes, ou avec d'autres montagnes que les nôtres.

Plusieurs naturalistes, après M. de Saussure, ont pensé que l'on pourrait tirer sur l'antiquité du monde des inductions probables d'après la formation des moraines qui bordent les glaciers. C'est cette idée que je vais essayer de soumettre au calcul, sans cependant pousser trop loin les conséquences. Quand il me sera démontré que le travail du glacier, pour produire les effets connus, a dû durer trois à quatre mille ans, j'en conclurai que le glacier existe depuis trois à quatre mille ans; mais il y aurait plus que de la témérité à rattacher l'existence de la terre à l'existence d'un ou de quelques glaciers. La face de la terre est un registre où sont inscrites les révolutions nombreuses qui s'y sont succédé; en connaître une ce n'est pas les connaître toutes.

Les glaciers charrient des sables et des rochers qui s'entassent sur les bords et qui s'y présentent comme des remparts; c'est à l'extrémité du glacier que ce dépôt est le plus abondant; c'est celui-là que nous prendrons pour l'une des bases de notre calcul. Si la

quantité totale du dépôt nous était connue, avec la quantité partielle qui lui est fournie chaque année par le fleuve glacé, ces deux termes nous donneraient celui de son âge; mais on sent que l'on ne peut former sur l'un et sur l'autre que des appréciations approximatives; et le même calcul fait par vingt personnes, donnerait probablement vingt résultats tout-à-fait éloignés les uns des autres. C'est, selon moi, une raison plus que suffisante de ne croire à aucun d'une manière absolue.

Cependant ils fournissent une idée de durée qui, par sa briéveté, est en rapport avec tous les autres signes de la jeunesse du monde humanitaire, du monde tel qu'il a été rangé pour recevoir les hommes.

Au lieu de chercher combien de matériaux le glacier verse chaque année sur sa moraine inférieure, j'ai cherché à connaître approximativement combien il en contient dans toute sa surface, et combien il met de temps à se renouveler tout entier. Avec la connaissance de ces deux termes, et en comparant la quantité contenue sur le glacier total à la masse du dépôt, je saurai combien de fois le glacier aura dû se renouveler, et par conséquent combien il aura duré.

Or, les matériaux accumulés au bas du glacier forment une masse dont les dimensions, ramenées à des moyennes, sont environ :

Longueur. . . . . 150 pieds.
Largeur. . . . . 600 »
Profondeur . . . . 100 »

(150 × 600 × 100 = 9,000,000 de pieds cubes pour la mesure du dépôt).

Les *traînées rocheuses* que j'ai décrites au Ch. IX, et qui vont se verser dans ce dépôt, peuvent être évaluées comme il suit :

Longueur. . . . . . . 30,000 pieds.
Largeur moyenne . . . 300 »
Profondeur moyenne. . $^1/_2$ »

Ce qui donne 30,000 × 300 × $^1/_2$ = 4,500,000 pieds cubes.

Cette quantité étant contenue deux fois dans la quantité du dépôt, nous pouvons en conclure que le glacier s'est renouvelé deux fois pour le former. Voyons maintenant combien de temps il met à s'écouler tout entier.

D'après les observations que j'ai citées dans le Chap. VIII, il avance de 60 pieds par année, et d'après les cartes de M. de Saussure, sa longueur totale, en comptant depuis les glaciers supérieurs qu'il reçoit, est de 30,000 pieds, qui, divisés par 60 pieds (longueur parcourue chaque année), donnent 500 ans, et comme il n'a dû se verser que deux fois, il n'aurait dû commencer que depuis mille ans.

Je me hâte d'avertir que rien n'est plus incertain que le résultat de ces calculs. Il n'est pas un des facteurs de l'opération auquel on ne pût ajouter ou diminuer sans peut-être s'éloigner de la vérité plus que je ne l'ai fait. La masse du dépôt, supposé même que les dimensions que j'ai indiquées fussent exactes, devrait être bien plus grande si l'on y ajoutait toutes les terres que les eaux entraînent et tous les blocs de rochers qu'elles ont roulés le long de la vallée, et tout ce qui a passé des traînées rocheuses sur les rives du glacier. La masse des traînées rocheuses n'est pas non plus élevée à sa valeur réelle, puisque je n'ai compté que ce qui est à la surface, sans tenir compte des matériaux contenus dans l'intérieur des glaces. Enfin, comme je l'ai dit dans le Chapitre VIII, la vitesse du glacier évaluée à 60 pieds n'est rien moins que sûre, parce que mes observations ne sont pas assez multipliées et n'ont été faites que sur un point. En admettant même que ces données fussent complètes, elles ne pourraient prouver qu'une chose, s'avoir, l'époque à laquelle la moraine inférieure a commencé à se former; mais avant le fleuve de glace descendant beaucoup plus bas, versait probablement les matériaux qu'il porte sur d'autres moraines que le temps a effacées.

Cependant, à ne considérer ces résultats que dans leur plus grande généralité, on est forcé de les rece-

voir comme une preuve que tout est nouveau dans la production des phénomènes que nous venons d'examiner. La conviction grandit avec le nombre des preuves. Il y a autour des Alpes plus de six cents glaciers; presque tous ont des moraines dont la masse correspond à la quantité des matériaux que charie le glacier; mais nulle part l'entassement de ce produit n'est assez grand pour porter les résultats du calcul au-delà des temps historiques. Il y a entre la forme actuelle du monde et les besoins de l'homme des rapports qui tendent à faire croire qu'ils remontent à la même antiquité. L'esprit humain qui voudrait se lancer dans des systêmes imaginaires sur l'antiquité de l'homme, sera toujours atterré par le majestueux accord de la nature, de l'histoire et de la révélation.

CHAPITRE XIX.

ÉCOULEMENT DES EAUX.

Pendant l'été, les eaux de fusion sont abondantes, comme il est facile d'en juger par la crue des rivières qui descendent des montagnes couvertes de neiges. Quand on parcourt le glacier des Bois, on admire au fond de chaque crevasse un petit ruisseau d'une eau limpide et fraîche, qui paraît couler sur une surface

d'émeraude. Ces eaux arrivent sur les bords du glacier, se perdent à travers les cailloux de la moraine, et vont se réunir sous les glaces au fond de la cavité qui les contient. D'autres eaux y arrivent par les ouvertures qui pénètrent jusqu'au fond du glacier, et enfin des sources, des cascades tombent aussi sur la rive du fleuve glacé et prennent la même direction; de sorte que l'on est certain qu'il y a une rivière *souterraine* qui coule sous toute l'étendue du glacier, et qui ne se manifeste qu'à son extrémité inférieure. Il serait curieux de connaître la forme et l'élévation de ces voûtes qui n'ont jamais retenti que du fracas du torrent qu'elles cachent. Sans compter pour rien l'effet de la chaleur centrale, les vapeurs humides devraient ce me semble rapidement corroder les glaces et agrandir indéfiniment cette cavité; cependant il faut bien que cela ne soit pas, puisqu'il n'y a jamais eu, que je sache, des éboulements de la surface vers le fond; mais ce qui ne se voit pas au glacier des Bois, se voit ailleurs assez fréquemment. Dans un Mémoire publié en 1825, M. Blanc, chanoine de St-Maurice en Valais, cite des catastrophes de cette nature. En parlant des glaciers sous lesquels il y a des courants d'eau, il dit : « Comme la voûte est ordi-
« nairement très-surbaissée et très-étroite, dans les
« crues d'eau elle est souvent atteinte toute entière
« par ce liquide. Il s'y produit parfois des affaisse-

« ments qui forment des brèches considérables. C'est « ainsi qu'il s'est formé l'an passé au glacier de « Breney, une énorme brèche qui a été presque « doublée cet été.

« Ces causes de destruction n'existent pas dans « les endroits où le glacier repose immédiatement « sur le sol. Aussi remarque-t-on que quand des « amas de neige ou de glace recouvrent des rivières, « en formant sur les bords et sur l'eau une épaisseur « à peu près égale, c'est toujours sur le courant de « l'eau que cette neige et cette glace disparaissent « d'abord, et souvent toute la rivière est mise à jour « tandis qu'il y a encore sur les bords des restes con- « sidérables de neige ou de glace. »

Il est étonnant qu'après avoir indiqué des faits si concluants pour démontrer le pouvoir dont jouissent les courants d'eau pour opérer la fusion des glaces, l'auteur de ce Mémoire n'ait écrit que pour contester l'efficacité des moyens appliqués par M. Venetz à la destruction d'un glacier.

CHAPITRE XX.

UTILITÉ DES GLACIERS.

L'intelligence qui reluit partout à côté des œuvres de la nature, a placé son sceau sur les glaciers aussi

bien que sur la plaine fertile qui se couvre de moissons. Le globe entier a été disposé dans ses mouvements et dans ses formes de manière à conserver et à reproduire la vie que le souffle divin a laissé tomber dans le monde. Le feu, l'air et l'eau sont pour tous les êtres organisés une condition première de vitalité, et l'admirable combinaison qui les ramène toujours pour des besoins qui renaissent toujours, réfléchit la pensée divine sur la pensée créée. Le feu qui accompagne l'astre du jour, le feu qui jaillit sur la terre remonte vers les astres et revient à nous; l'air qui se consume, s'absorbe et se recompose; l'eau qui voyage sans cesse autour du globe, n'est-ce pas le flux et le reflux de la vie? « Bénissons l'Eternel qui a suspendu des amas d'eau au-dessus des montagnes, afin que par cette disposition de sa sagesse la terre fût arrosée. » Ps. 103, vers. 13.

Si les eaux que les pluies et la condensation des vapeurs apportent sur la terre se remettaient immédiatement en voyage pour rentrer dans le bassin des mers, la terre passerait subitement de l'inondation à la sécheresse, et resterait souvent des mois entiers sans cet élément dont elle ne peut se passer un seul jour. Le suprême ordonnateur a pourvu à cette nécessité, et les sources, les ruisseaux et les fleuves, images de sa Providence, couleront toujours. Deux moyens ont été mis en œuvre pour retenir les eaux

sur les sommités du globe, et de là les laisser couler avec une sage parcimonie, afin que les provisions puissent suffire à la longueur de la disette. Les eaux des pluies et des vapeurs condensées se rassemblent dans les cavités des montagnes, s'échappent par les fissures des rochers, et vont couler le long des vallées; ou bien encore les eaux courent en abondance se durcir sur les points culminants de la demeure de l'homme, et en se fondant lentement pendant la saison de la sécheresse, entretiennent les sources et les rivières. Des physiciens récents ont avancé que les pluies et la fonte des neiges n'étaient presque pour rien dans l'entretien des sources, et qu'elles étaient dues entièrement à la condensation des vapeurs. Ces naturalistes de cabinet n'ont pas vu la nature chez elle; s'ils venaient passer quelques années dans nos montagnes, ils verraient combien est grande leur erreur. C'est là qu'il faut venir pour étudier tous les phénomènes qui se rattachent aux écoulements naturels des eaux. Il n'est pas une montagne qui n'ait à ses pieds ou le long de ses flancs une multitude de sources dont il est pour l'ordinaire facile d'assigner l'origine. Il en est qui commencent à couler quelques heures après la pluie, et qui tarissent plus ou moins rapidement à raison de leur abondance; il en est qui ne coulent que pendant la pluie, parce qu'elles n'ont aucun réservoir pour réunir les eaux; il en est qui tarissent

après un mois, deux mois, trois mois de sécheresse, selon la capacité du réservoir qui les alimente; mais toutes ne recommencent à couler qu'après les pluies, et leur cessation à lieu précisément dans le temps où la condensation des vapeurs doit être plus abondante. Au pied des montagnes de neiges perpétuelles il y a beaucoup de sources qui ne jaillissent que pendant l'été, parce qu'elles doivent infailliblement leur origine à la fonte des glaciers. Enfin, il suffit de voir les sources, les torrents, les rivières pendant la saison des chaleurs et des sécheresses, pour rester convaincu que les glaciers ne sont que des magasins de prévoyance ouverts aux besoins des êtres organisés. « (Bénissons l'Eternel) qui a ordonné aux sources de couler au fond des vallées, et qui a prolongé leurs cours entre les sinuosités des montagnes. » Ps. 103. vers. 11.




BOSTON PUBLIC LIBRARY
3 9999 07770 177 7


July

